

# INVESTIGACION *y* CIENCIA

CIENCIA Y TECNICA EN ESPAÑA

MICROORGANISMOS DE LAS ENTRAÑAS DE LA TIERRA

AZAR BENIGNO, AZAR SALVAJE

Edición española de  
**SCIENTIFIC  
AMERICAN**



FISICA ATOMICA DEL ROZAMIENTO

DICIEMBRE 1996  
800 PTAS.

6

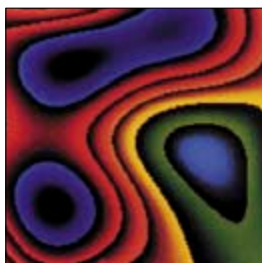


## El sistema español de ciencia y técnica

*Angel Pestaña*

Carece hoy de sentido culpar al pasado del retraso industrial español. Ciertamente es que se perdieron oportunidades históricas en los siglos XVIII y XIX. Pero, ¿dónde nos encontramos ahora? Los indicadores de estado del sistema de investigación y desarrollo muestran la existencia de un hiato creciente entre la investigación científica y el desarrollo técnico español. Urge corregir tal desarticulación.

14

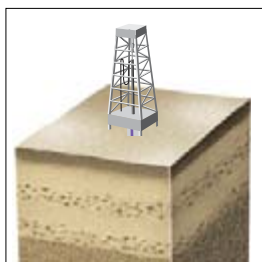


## Del azar benigno al azar salvaje

*Benoît Mandelbrot*

La noción de azar que utilizan las ciencias es multiforme. Su forma mejor domada, la que podríamos denominar “benigna”, no sirve para describir la evolución de la bolsa de valores ni el comportamiento de muchos otros fenómenos naturales o sociales. Para comprender la irregularidad hay que recurrir a sus formas “salvajes”.

22



## Vida en las profundidades de la Tierra

*James K. Fredrickson y Tullis C. Onstott*

Los biólogos consideraban antaño nuestro planeta como un ecosistema que rodeaba a un globo carente de posibilidades de vida. Pero su perforación ha demostrado que los microorganismos pueden medrar a miles de metros por debajo de la superficie. Su existencia brinda indicios acerca de las condiciones en que podrían existir formas de vida escondidas en Marte y en otros mundos.

40



## Control de ordenadores por señales neurales

*Hugh S. Lusted y R. Benjamin Knapp*

La técnica de la computación ha avanzado mucho en los últimos cuarenta años, pero construir un enlace neural versátil entre el cerebro humano y la máquina electrónica sigue siendo una empresa titánica. Sin embargo, vale la pena proseguir en esa línea, que nos permitirá comunicarnos con los ordenadores sin ningún esfuerzo.

46



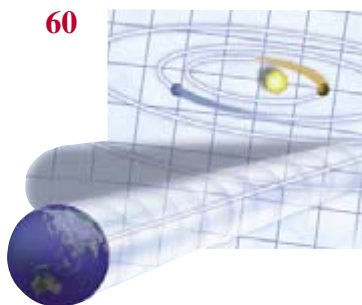
## Rozamiento a escala atómica

*Jacqueline Krim*

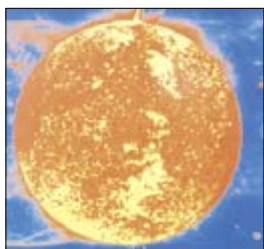
¿Por qué hay superficies que, al deslizarse una sobre otra, chirrían, en tanto que otras resbalan con suavidad? Como muestran los estudios de la fricción a escala atómica, la textura de la superficie suele tener poco que ver con ello. Hay objetos que deslizan peor cuando están humedecidos y a veces un cuerpo rugoso se desliza mejor que otro liso.

**54****Charles Darwin y Alfred Wallace ante el espiritismo***Richard Milner*

Cuando la Inglaterra victoriana llevó a los tribunales al célebre espiritista Slade acusándolo de fraude, los naturalistas, con Edwin Ray Lankester a la cabeza, emprendieron una cruzada para desprestigiar a todos los médiums. A diferencia de Darwin, Alfred Russel Wallace era fervoroso partidario del espiritismo.

**60****¿Existen límites lógicos para el conocer?***John L. Casti*

Ante los descubrimientos concernientes a los límites de las demostraciones matemáticas, la filosofía se pregunta si puede pretender la ciencia explicar el funcionamiento del universo. Para el autor, una ciencia liberada del yugo matemático podría afrontar incluso las preguntas últimas.

**66****El ruido 1/f***Edoardo Milotti*

Abundan los fenómenos físicos que generan ruido. Los hay que producen un ruido casi blanco; otros engendran ruidos de color, entre los que destaca el 1/f. El origen de esta señal aleatoria, de notable interés por su ubicuidad y por sus propiedades matemáticas, sigue siendo un misterio.

**SECCIONES****4 Hace...****30****Ciencia  
y sociedad**

Filogenia molecular.

**81****Juegos  
matemáticos**

Monopoly: segunda aproximación.

**38 De cerca****84 Libros****72 Ciencia y empresa****90 Índice anual****78 Taller y laboratorio****96 Ideas aplicadas**



Portada: Slim Films

## PROCEDENCIA DE LAS ILUSTRACIONES

Página	Fuente
7-11	Angel Pestaña
12	Jordi Pareto (fotografía); Angel Pestaña (gráfica)
14-20	Documentos PLS
22-23	George Retseck; David Boone, Instituto Graduado de Oregón (fotografía)
24-25	Phil Long, Battelle, Laboratorio Nacional del Noroeste del Pacífico (arriba); George Retseck (abajo)
26	George Retseck (diagrama); Sandra A. Nierwicki-Baur, Instituto Politécnico Rensselaer (micrografía)
27	James K. Fredrickson
40-42	Stephen Ferry
43	Jared Schneidman Design
44	Johnny Johnson
45	Steve Murez, <i>Black Star</i>
46-47	FPG Internacional
48	Biblioteca de la Universidad de Leeds
49	Jared Schneidman Design
50-51	Michael Goodman (arriba); Jared Schneidman Design (abajo)
52	Judith A. Harrison, Academia Naval de EE.UU.
54	Julia Margaret Cameron
55	Archivo de la Sociedad para la Investigación Psíquica; Biblioteca de la Universidad de Cambridge
56	Biblioteca de imágenes Mary Evans
57	Cortesía del Museo Wedgwood (arriba); cortesía de Gareth Nelson (abajo)
58	Biblioteca de imágenes Mary Evans
59	Michael Huxley
60-63	Laurie Grace
67-71	Le Scienze SpA
78-79	Bryan Christie
81	Hasbro, Inc.
82	Jennifer C. Christiansen
83	Norman Gallatin
96	Xerox Corporation; Barry Ross (dibujos)

## COLABORADORES DE ESTE NUMERO

### Asesoramiento y traducción:

Luis Bou: *Del azar benigno al azar salvaje, ¿Existen límites lógicos para el conocer?, De cerca y Juegos matemáticos*; Sebastián Méndez Alvarez: *Vida en las profundidades de la Tierra*; Juan Pedro Campos: *Rozamiento a escala atómica*; José M. García de la Mora: *Charles Darwin y Alfred Wallace ante el espiritismo*; Carlos Pérez García: *El ruido 1/f*; J. Vilardell: *Hace..., Taller y laboratorio e Ideas aplicadas*

## INVESTIGACION Y CIENCIA

DIRECTOR GENERAL Francisco Gracia Guillén

EDICIONES José María Valderas, *director*

ADMINISTRACIÓN Pilar Bronchal, *directora*

PRODUCCIÓN M.<sup>a</sup> Cruz Iglesias Capón

Bernat Peso Infante

Carmen Lebrón Pérez

SECRETARÍA Purificación Mayoral Martínez

EDITA Prensa Científica, S. A. Muntaner, 339 pral. 1.<sup>a</sup> – 08021 Barcelona (España)

Teléfono (93) 414 33 44 Telefax (93) 414 54 13

## SCIENTIFIC AMERICAN

EDITOR IN CHIEF John Rennie

BOARD OF EDITORS Michelle Press, *Managing Editor*; Marguerite Holloway,

*News Editor*; Ricki L. Rusting y Timothy M. Beardsley, *Associate Editors*;

John Horgan, *Senior Writer*; W. Wayt Gibbs; Kristin Leutwyler;

Madhusree Mukerjee; Sasha Nemecek; Corey S. Powell; David A. Schneider;

Gary Stix; Paul Wallich; Philip M. Yam; Glenn Zorpette

PRODUCTION Richard Sasso

CHAIRMAN AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER John J. Hanley

PUBLISHER John J. Moeling, Jr.

## SUSCRIPCIONES

Prensa Científica S. A.  
Muntaner, 339 pral. 1.<sup>a</sup>  
08021 Barcelona (España)  
Teléfono (93) 414 33 44  
Fax (93) 414 54 13

### Precios de suscripción, en pesetas:

	Un año	Dos años
España	8.800	16.000
Extranjero	9.700	17.800

### Ejemplares sueltos:

Ordinario: 800 pesetas

Extraordinario: 1.000 pesetas

—Todos los precios indicados incluyen el IVA, cuando es aplicable.

—En Canarias, Ceuta y Melilla los precios incluyen el transporte aéreo.

—El precio de los ejemplares atrasados es el mismo que el de los actuales.

## DISTRIBUCION

### para España:

#### MIDESA

Carretera de Irún, km. 13,350  
(Variante de Fuencarral)  
28049 Madrid Tel. (91) 662 10 00

### para los restantes países:

Prensa Científica, S. A.  
Muntaner, 339 pral. 1.<sup>a</sup> – 08021 Barcelona  
Teléfono (93) 414 33 44

## PUBLICIDAD

GM Publicidad

Francisca Martínez Soriano  
Menorca, 8, semisótano, centro, izquierda.  
28009 Madrid  
Tel. (91) 409 70 45 – Fax (91) 409 70 46

Cataluña y Baleares:

Miguel Munill  
Muntaner, 339 pral. 1.<sup>a</sup>  
08021 Barcelona  
Tel. (93) 321 21 14  
Fax (93) 414 54 13

Difusión controlada

Copyright © 1996 Scientific American Inc., 415 Madison Av., New York N. Y. 10017.

Copyright © 1996 Prensa Científica S. A. Muntaner, 339 pral. 1.<sup>a</sup> 08021 Barcelona (España)

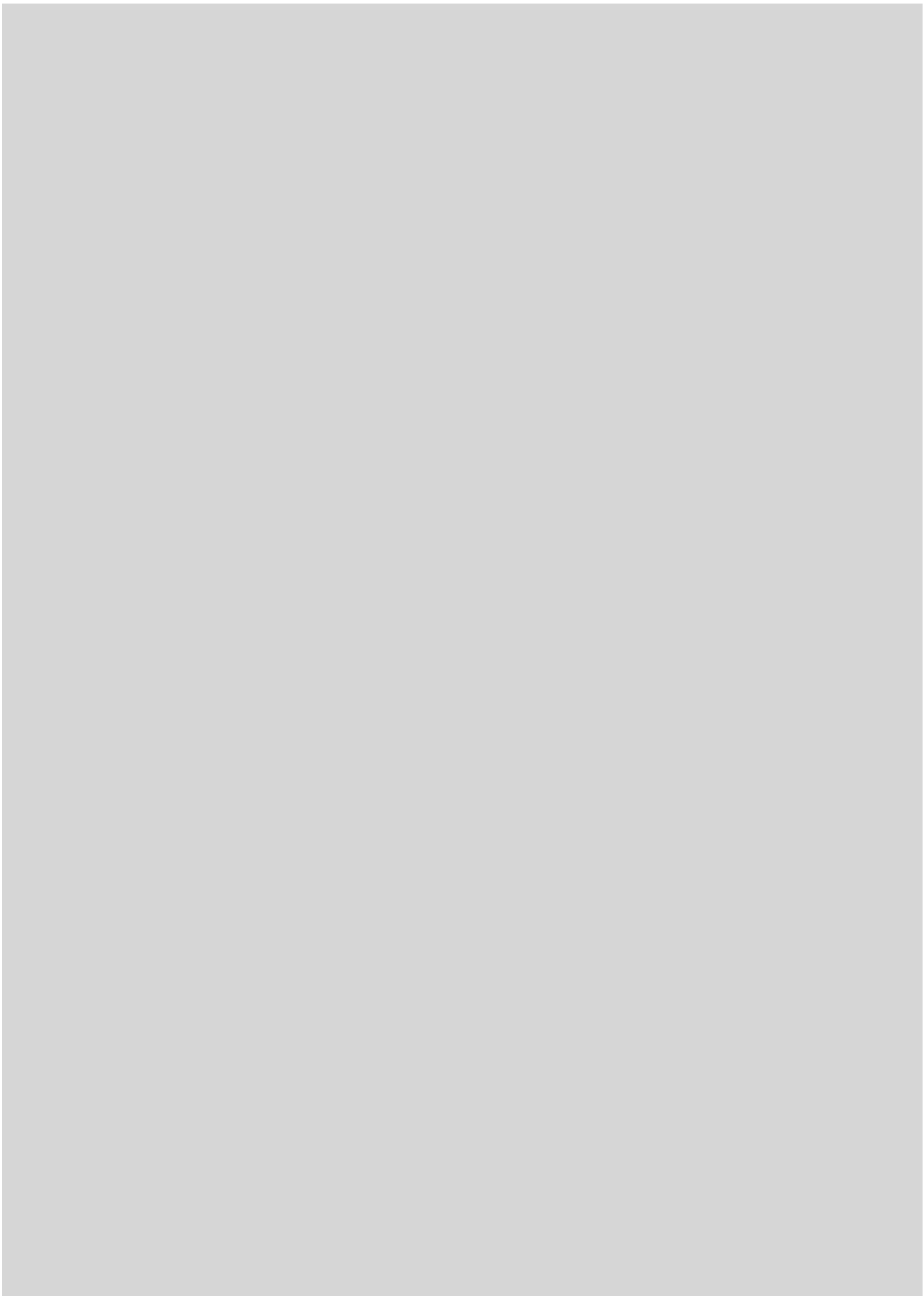
Reservados todos los derechos. Prohibida la reproducción en todo o en parte por ningún medio mecánico, fotográfico o electrónico, así como cualquier clase de copia, reproducción, registro o transmisión para uso público o privado, sin la previa autorización escrita del editor de la revista. El nombre y la marca comercial SCIENTIFIC AMERICAN, así como el logotipo correspondiente, son propiedad exclusiva de Scientific American, Inc., con cuya licencia se utilizan aquí.

ISSN 0210136X Dep. legal: B. 38.999 – 76

Filmación y fotocopros reproducidos por Scan V2, S.A., Avda. Carrilet, 237 – 08907 L'Hospitalet (Barcelona)

Imprime Rotocayfo, S.A. Ctra. de Caldes, km 3 - Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona)

Printed in Spain - Impreso en España



# Hace...

## ...cincuenta años

SCIENTIFIC AMERICAN: «Ya se están cosechando los primeros frutos del “arte de la paz” atómico. Con las mismas técnicas que produjeron la bomba, los laboratorios de Oak Ridge están ahora fabricando isótopos radiactivos. Mucho se ha escrito acerca del uso de sustancias radiactivas en el marcaje de vitaminas, aminoácidos y otros carburantes necesarios para el funcionamiento de la maquinaria humana, pero se han pasado por alto los beneficios que reporta a la industria. Son numerosos los productos químicos que se forman mediante procesos hartamente misteriosos. Los isótopos, al ser “observadores” a escala atómica, pueden ayudar a correr el velo de tales misterios.»

## ...cien años

SCIENTIFIC AMERICAN: «El doctor Shibasaburo Kitasato ha reunido, de fuentes fiables, información acerca de 26.521 casos de difteria registrados en Japón antes de la introducción de la sueroterapia, 14.996 de los cuales fueron defunciones (56 por ciento). Entre los 353 casos tratados tras la introducción en Japón de la sueroterapia, desde noviembre de 1894 hasta noviembre de 1896, sólo se dieron 31 defunciones (8,79 por ciento). Hay razones para creer que podría rebajarse la mortalidad si el tratamiento empezara en las fases iniciales de la enfermedad. Así, los 110 casos en los que se aplicaron las inyecciones antes de cuarenta y ocho horas después de la infección se recuperaron todos. Por otra parte, de los 33 casos tratados después del octavo día de enfermedad (incluidos algunos pacientes moribundos), 11 no pudieron salvar la vida.»

«Herr G. Kraus ha investigado el objeto de la elevación de temperatura que acompaña a la floración de diversas especies

de acacias y palmáceas. En *Ceratostylis longifolia* descubrió que esa elevación tiene lugar durante el día, llegando a un máximo de 11,7 °C por encima de la temperatura ambiental. En las acacias examinadas, la elevación de temperatura está acompañada por un rápido consumo de almidón y azúcar. El doctor Stahl ve en ello un mecanismo para atraer insectos polinizadores.»

«Por su aplicación a la fabricación de cubiertas de neumáticos y biberones, el caucho de la India se está convirtiendo en una necesidad básica de la civilización. Pero son pocas las plantas productoras que se hallan a distancias cómodas de los tinglados de exportación. Centenares de personas se han devanado los sesos en busca de un sustituto, pero nadie ha resuelto el problema. Está por ver si nuestro país, u otro cualquiera, quiere entrar en esta rama de la silvicultura tropical. Los alemanes, con su tenacidad característica, disponen de un potente equipo científico en el Camerún. Los ingleses, con su habitual improvisación, se conforman con mandarlo al Jardín Botánico de Kew para que elabore informes. Pero al menos el gobierno indio ha intentado un experimento a gran escala en Assam, mediante un vivero de árboles

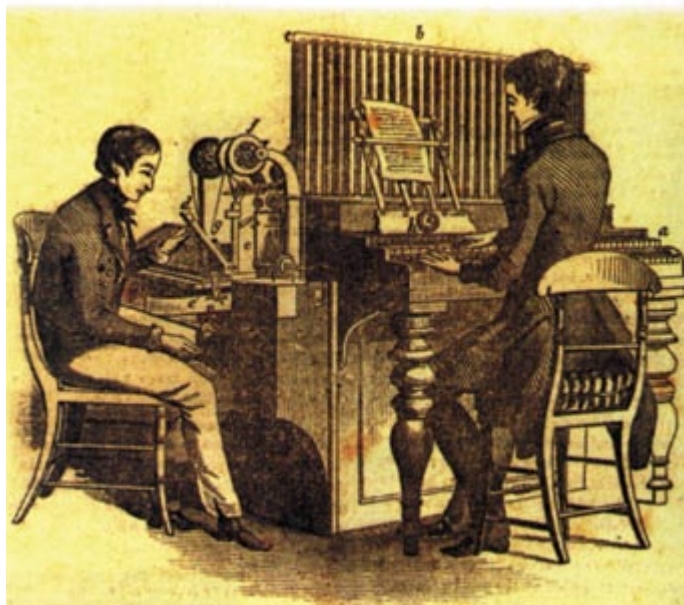
de caucho del Pará que se extiende sobre casi 52.000 hectáreas.»

## ...ciento cincuenta años

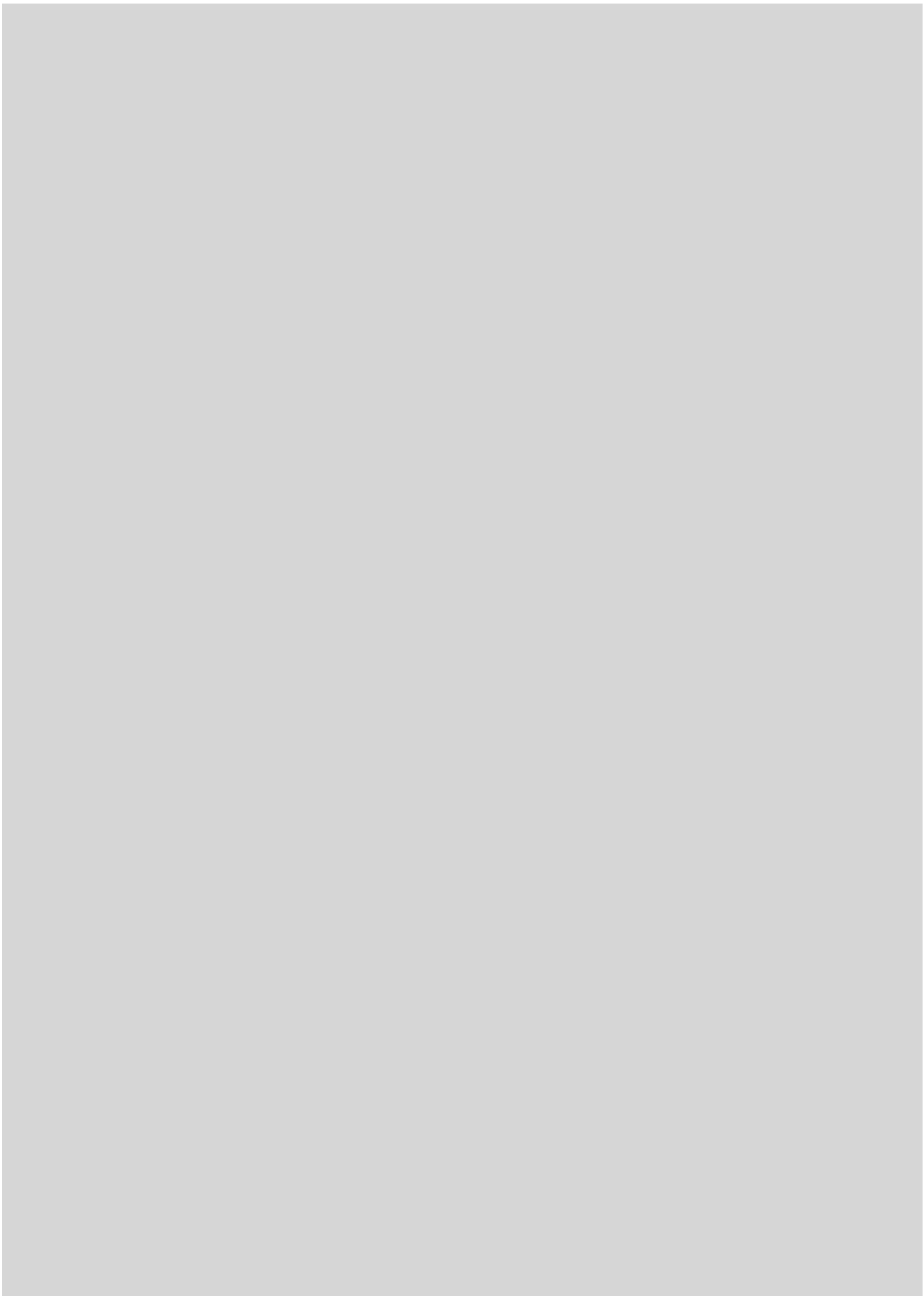
SCIENTIFIC AMERICAN: «El nuevo planeta [Neptuno], descubierto por Urbain Leverrier, tiene un tamaño de doscientas treinta veces el de la Tierra, y es el mayor del sistema solar. Este descubrimiento quizá sea el triunfo más sonado de la ciencia hasta la fecha. Un joven astrónomo francés se pone a trabajar para comprobar la causa de las aberraciones del planeta Herschel [Urano] en su órbita. Descubre así que otro planeta, de cierto tamaño, situado a una distancia al Sol casi el doble que la de Herschel, produciría exactamente los mismos efectos que él observaba. Calcula entonces su posición en el firmamento, con tal precisión que los astrónomos, al dirigir los telescopios al punto donde se predice que ha de estar ese anochecer, todos consiguen encontrarlo allá.»

«Una nueva y original partida en la minuta de un abogado. Cierta procurador que había sido empleado por una compañía ferroviaria inglesa, al redactar su minuta, tras enumerar todos los apartados rutinarios, agrega el siguiente: “Por ansiedad mental, partida no mencionada antes, 2000 libras esterlinas”. Se le pagó sin rechistar.»

«La máquina tipográfica Clay y Rosenberg está expresamente adaptada a todos los tipos de composición simple, poesía o prosa. La fuerza motriz la recibe a través de una manivela giratoria y puede accionarse por vapor; viene a ser, pues, una *máquina tipográfica a vapor*. Recuerda, por su forma, a un piano rural, con dos hileras de teclas. Para manejarla se requiere un hombre adulto y cuatro aprendices; cuando está en pleno funcionamiento, atiende al trabajo de hasta ocho cajistas.»



La nueva máquina tipográfica



# El sistema español de ciencia y técnica

*Los indicadores de estado del sistema de investigación y desarrollo muestran la existencia de un hiato creciente entre la investigación científica y el desarrollo técnico español. Urge corregir tal desarticulación*

Angel Pestaña

Las relaciones entre la investigación científica y el desarrollo técnico están vinculadas históricamente a la revolución industrial, sobre todo a partir de la segunda mitad del siglo XIX, cuando aparecen los primeros laboratorios industriales. Desde entonces, los lazos entre ambos tipos de actividad han ido estrechándose, en la medida en que la técnica, la competitividad industrial y el desarrollo económico se han hecho progresivamente dependientes del avance del conocimiento científico. De ahí la preocupación por la coordinación de las políticas económica y científico-técnicas y el peso relativo de los instrumentos públicos de promoción frente a la iniciativa empresarial en el desarrollo. En cualquiera de los supuestos es imprescindible disponer de un conocimiento lo más definido posible de lo que se ha convenido en denominar Sistema de Ciencia y Técnica (SCT). Por tal se entiende el conjunto estructurado de recursos y actividades relacionadas con la producción y difusión del conocimiento científico y su incorporación a los procesos de producción de bienes y servicios.

El conocimiento de la estructura, dimensiones y funcionalidad del SCT está íntimamente asociado a

la disponibilidad de un sistema de medición y valoración continuado, cuyo principal exponente son los indicadores de actividad científica y técnica, implantados en los países de la OCDE desde 1961 y recogidos en publicaciones bienales. Los indicadores de la OCDE miden los recursos del sistema en términos de personal y gastos en investigación y desarrollo (I+D) según el origen de los fondos, sector de ejecución, objetivo socioeconómico y tipo de actividad, incluyendo en el caso de las empresas un análisis sectorial pormenorizado. Pero se carece de un sistema estándar para medir los resultados directos de la actividad I+D.

En cienciometría, las actividades de I+D se clasifican en tres tipos: básica, aplicada y de desarrollo experimental; el peso relativo de un tipo u otro varía según la tradición y nivel de desarrollo técnico-industrial de los países. La investigación básica representa un 15-20 % de los recursos de I+D, se ejecuta preferentemente en la universidad y se expresa en forma de publicación científica. Por el contrario, la investigación aplicada y, sobre todo, la encaminada al desarrollo experimental se ejecuta en gran parte en el ámbito empresarial y tiene su expresión en informes de circulación interna, licencias y patentes.

El recuento de publicaciones constituye el sistema universal para medir la actividad y capacidad científica, especialmente en investigación básica. En la práctica, se tiende a considerar sólo las publicaciones registradas en la base de datos *Science Citation Index* del Instituto de Información Científica (ISI). Ello supone dejar fuera de toda consideración otras publicaciones también sometidas a la revisión por expertos pero que por su

lenguaje o especialización (recursos naturales o ingeniería) tienen un carácter más local. En cualquier caso, y a pesar de su sesgo proclive a las revistas de publicación en lengua inglesa, la base de datos del ISI se ha convertido en el estándar internacional para medir la producción científica; se ha incorporado en el Informe Europeo sobre Indicadores de Ciencia y Técnica (ERSTI), elaborado para la Comisión Europea. En este estudio, que servirá de referencia para buena parte de los datos manejados en nuestro artículo, se han incorporado también los datos procedentes de los registros internacionales de patentes, el europeo (EPO) y el norteamericano (USPTO), por considerar que están directamente relacionados con la capacidad de invención y el desarrollo tecnológico e industrial.

Antes de entrar en la valoración de la situación actual del sistema español de ciencia y técnica en relación con el contexto europeo, parece conveniente establecer de manera sucinta el proceso histórico de su estructuración y funcionalidad en los últimos cincuenta años. Como es sabido, tras la guerra civil, las iniciativas estatales en ciencia y técnica se organizan en torno al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Modelado sobre el francés Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), el CSIC acapara las funciones de asesoramiento, fomento, orientación y coordinación de la investigación científica nacional (lo que en cienciología se identifica como niveles I y II) junto con la ejecución de actividades I+D (nivel III) a través de sus centros propios, secciones universitarias y centros coordinados con universidades. Además de su

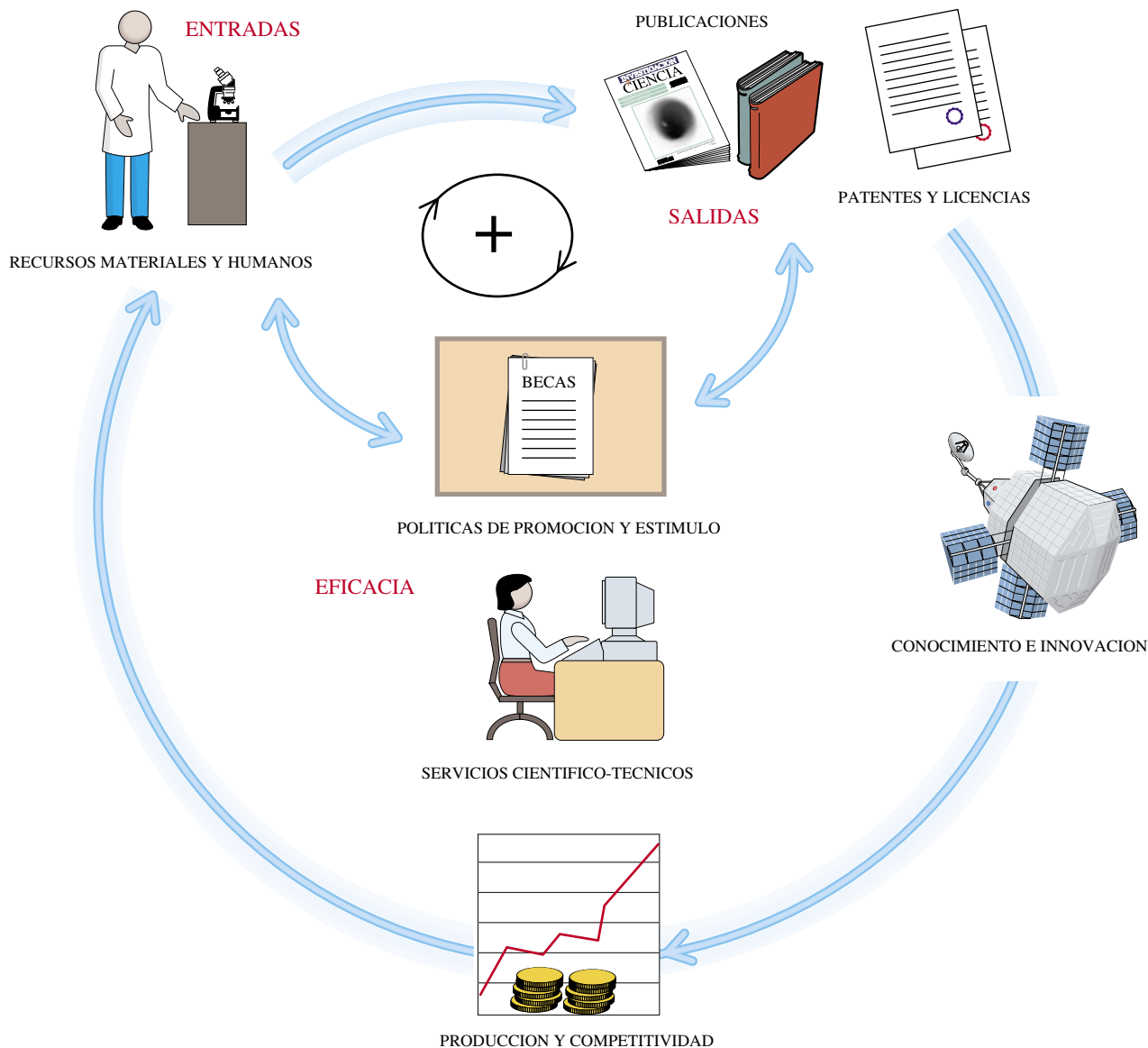
ANGEL PESTAÑA es investigador del CSIC en el Instituto de Investigaciones Biomédicas, donde dirige un grupo de trabajo sobre genética molecular del cáncer humano. También está interesado en las consecuencias sociales y económicas de la actividad científica y en la valoración de la ciencia como producto susceptible de cuantificación (cienciometría).





FUENTE: Instituto Nacional de Estadística

**1. REGIONALIZACION del esfuerzo en I+D en 1993. (VABcf designa el valor añadido bruto al coste de factores).**



**2. MODELO GENERALIZADO de un sistema de ciencia y técnica y sus relaciones con el sistema productivo. Los trabajadores científicos, dotados de recursos materiales apropiados (entradas), generan unos resultados (salidas) en forma de publicaciones o patentes; las políticas de estimulación**

**y los servicios científico-técnicos retroalimentan al sistema aumentando su eficacia. El resultado final es conocimiento e innovación, cuya eventual incorporación al sistema productivo puede dar lugar a un aumento de la competitividad y crecimiento económico que retroalimenta al sistema.**

disposición a cultivar las distintas ramas del árbol de la ciencia, el CSIC representa el primer intento de organizar la investigación técnica e integrarla dentro de lo que hoy conocemos como sistema ciencia-técnica-industria, a través del patronato "Juan de la Cierva".

A partir de 1953, los cambios sociopolíticos originados por el desenlace de la segunda guerra mundial y la alianza con Estados Unidos para el establecimiento de bases militares norteamericanas en el territorio español, se realizan una serie de acciones (créditos, destinados a infraestructuras, del Banco Mundial y de la norteamericana Fundación Nacional para la Ciencia, programa de becas

para formación de personal investigador, contratos de investigación de empresas estadounidenses con centros de investigación españoles) que van a suponer un impulso para el desarrollo del sistema de ciencia y técnica. Desde el punto de vista institucional, el hito más importante de este período corresponde a la creación en 1961 de la Comisión Asesora de Investigación Científica (CAICYT), que queda adscrita a la Presidencia de Gobierno, como instrumento para fomentar la I+D en el contexto de los Planes de Desarrollo; un esbozo anticipado de lo que luego habría de ser el Programa Técnica-Economía de la OCDE. La CAICYT gestiona a partir de 1965 los Fondos Nacionales para el Desarrollo

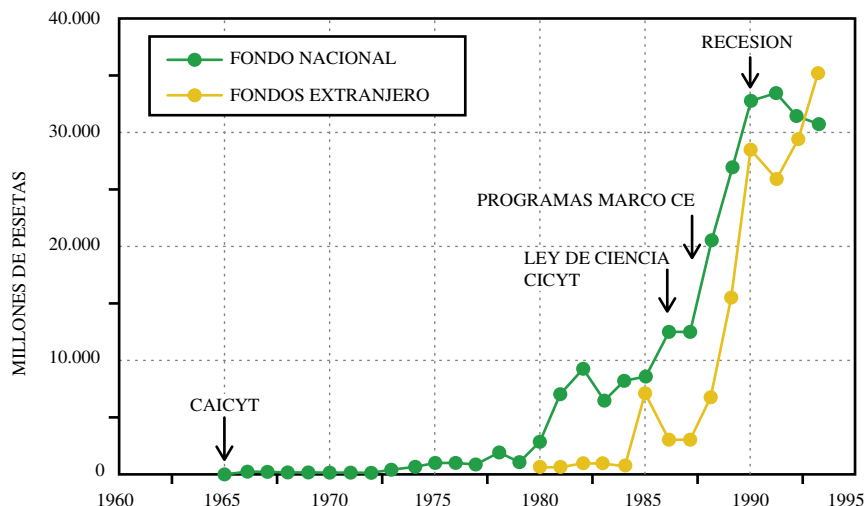
de la Investigación Científica, que se distribuyen entre subvenciones a proyectos de investigación básica y aplicada, infraestructura y acciones concertadas de investigación y desarrollo. Sin embargo, la cuantía de estos fondos es modesta. Hasta 1975 no se superan los mil millones de pesetas corrientes.

En 1977 se creó el Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI), adscrito al Ministerio de Industria y constituido inicialmente con un crédito del Banco Internacional de Reconstrucción y Desarrollo para estimular la investigación técnica industrial. Establecido cinco años antes, en este período se consolida el Fondo de Investigaciones

Sanitarias (FIS), adscrito al Ministerio de Sanidad, como instrumento para promover la investigación y desarrollo en temas de salud, utilizando una contribución de las empresas farmacéuticas (descuento complementario) que se benefician del gran mercado institucional que supone el sistema nacional de salud. Desde el punto de vista de las actividades relacionadas con la investigación básica, hay que destacar el cambio de tendencia en la presencia de las publicaciones científicas españolas en las bases de datos internacionales; desde 1979 se aprecia un crecimiento lineal que supone la incorporación de unas 600 nuevas publicaciones cada año.

En la década de los ochenta se asiste a un crecimiento notable del Fondo Nacional para el Desarrollo de la Investigación que se complementa, tras el ingreso en la Comunidad Europea, con la entrada de fondos de investigación desde el extranjero —formalmente retornos de las aportaciones españolas— equivalentes en cuantía a los del Fondo Nacional. Desgraciadamente, esta bonanza parece asociada a una etapa expansiva de la economía española, de forma que el crecimiento del esfuerzo en I+D se estanca a partir de 1990, coincidiendo con la recesión económica. Además de los compromisos económicos estatales para la financiación de la I+D, se producen en este período cambios en el marco institucional del SCT debido al desarrollo de las competencias autonómicas en investigación y la promulgación de la Ley de Reforma Universitaria de 1983 y la Ley de Fomento y Coordinación General de la Investigación Científica y Técnica en 1986.

La asunción de las competencias de fomento de la investigación por las comunidades autónomas es un proceso desigual y todavía inconcluso en el que destacan Andalucía, Asturias, Cataluña, Galicia, Madrid, Navarra, Comunidad Valenciana y País Vasco, por disponer de una elaborada normativa específica y planes regionales de investigación. Cataluña, por ejemplo, se dota ya en 1980 de un organismo de planificación y coordinación interdepartamental (CIRIT). Además, su estatuto de autonomía tensó al máximo la dualidad constitucional en la distribución de competencias sobre fo-



### 3. LA EVOLUCION del Fondo Nacional y de la financiación procedente del extranjero puntúa las principales etapas de la reciente historia del SCT español (Fuentes: CAICYT, CICYT)

mento de la investigación entre comunidades autónomas y el estado, al atribuirse unas competencias exclusivas que la Constitución reserva para el estado.

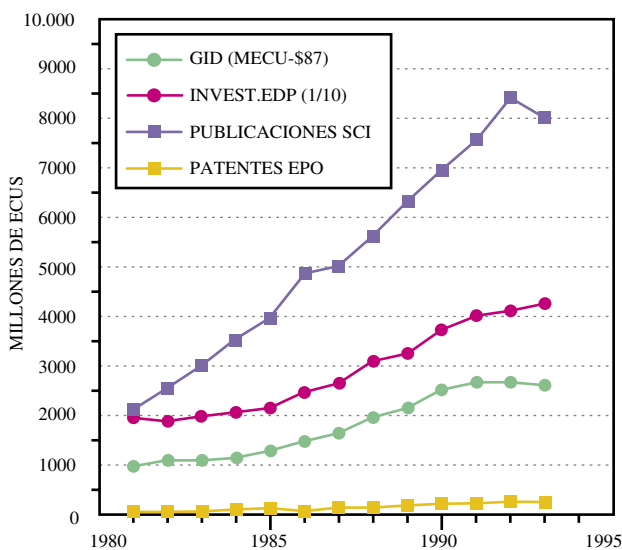
El Tribunal Constitucional, en sentencia de 1992, sitúa al sistema de I+D español en la perspectiva de un modelo de concertación concurrente como el existente en Alemania. Esto puede resultar más complicado que un sistema centralizado, pero no necesariamente más ineficaz. Sobre todo si se acompaña de medidas para facilitar la convergencia de las regiones menos desarrolladas.

La Ley de Reforma Universitaria (LRU) incide en varios aspectos sobre la organización y funcionalidad del SCT. Por una parte consagra la figura del profesional docente-inves-

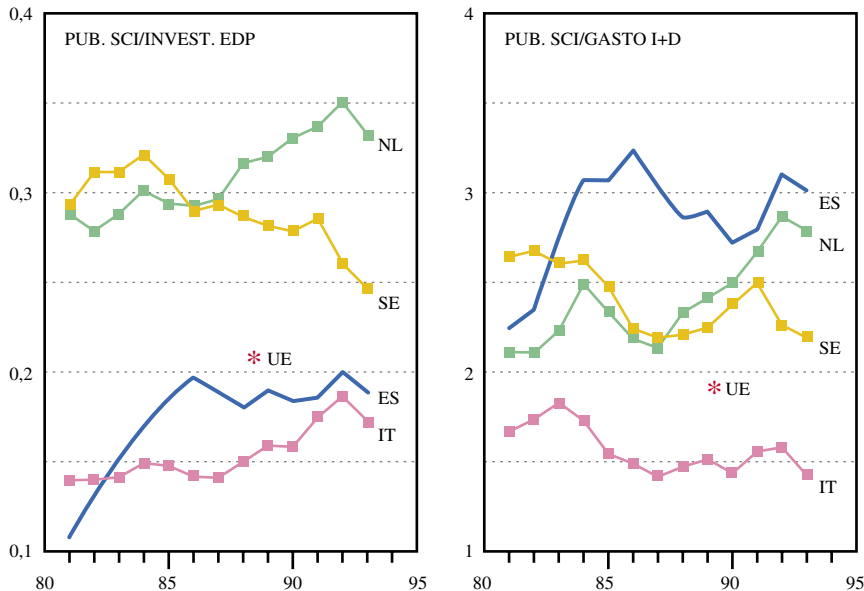
tigador, con un peso importante de la actividad científica en el acceso, promoción y complementos retributivos. La LRU establece también la autonomía y descentralización de las universidades, que pasan a engrosar los efectivos de I+D regionalizados. Además, la masificación de la enseñanza ha facilitado un crecimiento notable de las plantillas docentes que tiene consecuencias estadísticas sobre los indicadores de I+D.

Finalmente, la Ley de Fomento y Coordinación General de la Investigación Científica y Técnica (coloquialmente llamada “ley de la ciencia”) establece un nuevo marco institucional para desarrollar las iniciativas estatales de promoción del sistema de I+D, coordinar esfuerzos de las distintas administraciones y reorganizar el sector público de ciencia y técnica (OPI). El instrumento principal para estas acciones es el Plan Nacional de I+D (PNID), a cuyo frente se dispone una Comisión Interministerial de Ciencia y Técnica (CICYT) garante de la coordinación sectorial, una Comisión Permanente y una Secretaría General para la gestión de los programas. Además, se crea un Consejo Asesor para promover la participación de los agentes económicos y sociales y un Consejo General, para la participación y coordinación de las comunidades autónomas.

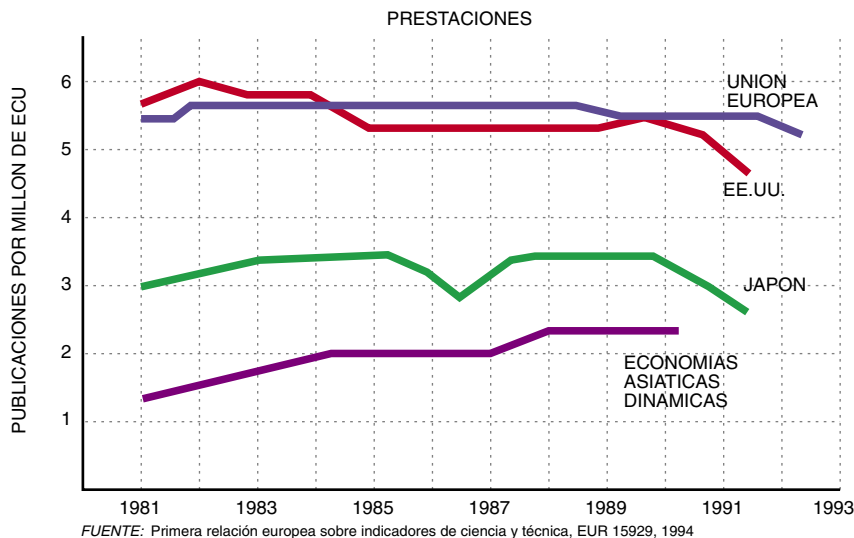
Sobre el trasfondo de ese entramado administrativo y



### 4. EVOLUCION del sistema I+D español en el período 1981-1993 (Fuente: ERSTI)



**5. PRODUCTIVIDAD CIENTIFICA.** Número de publicaciones en el SCI referidas al número total de investigadores en equivalente de jornada completa (EDP) y a los gastos totales en I+D (GID) en millones de ecus constantes. (Fuente: ERSTI)



financiero, el sistema español de ciencia y técnica ha experimentado en los últimos años unos cambios cuya amplitud y alcance nos proponemos revisar, atendiendo a una serie de criterios cuantitativos y cualitativos que agrupamos en torno a los epígrafes de crecimiento, productividad, articulación ciencia/técnica, convergencia europea y cohesión regional.

Desde el punto de vista cuantitativo, la característica dominante de este período puede resumirse en crecimiento: incremento del gasto en I+D (GID) que multiplica 2,8 veces su valor en moneda constante (millones de ecus referidos a dólares de 1987), si bien hay que destacar que la mayor parte de este cambio se concentra

en el quinquenio 1985-1990, que corresponde al período expansivo de la economía española. Crecimiento paralelo de los investigadores en equivalente de dedicación plena (EDP), que pasan de una cifra cercana a 20.000, en 1981, a más de 40.000, en 1993. Crecimiento también de las publicaciones de autoría española en la base de datos SCI que cuadruplican los valores de 1981, si bien el crecimiento lineal de este parámetro se inicia a finales de la década precedente. Por último, las patentes de procedencia española registradas en las oficinas internacionales triplican su valor inicial, aunque no rebasan la cifra de 175 y 250 en las oficinas de patentes estadounidense y europea, respectivamente.

Más allá de estos cambios cuantitativos, la eficiencia del sistema español de I+D viene determinada por su capacidad para la conversión de los recursos puestos a su disposición en conocimiento científico y técnico. Para evaluar ese rendimiento podemos recurrir a los indicadores de productividad; entre éstos, el cociente entre resultados (publicaciones o patentes) y recursos empeñados (investigadores o gasto de I+D), siempre y cuando se disponga de series temporales o comparadores internacionales de referencia. Para este estudio hemos utilizado los datos del informe ERSTI, referentes a España y tres países (Italia, Países Bajos y Suecia) con sistemas de I+D de rango medio alrededor del español.

La producción científica española por investigador se duplicó entre 1980 y 1986, manteniéndose desde entonces en torno a las 0,2 publicaciones SCI por investigador en dedicación plena; una cifra similar al valor medio vigente en 1989 para el conjunto de la Unión Europea y algo superior a la productividad de Italia. La productividad por investigador es notablemente superior en Holanda y Suecia, aunque con una evolución divergente, creciente en aquella y descendente en ésta. En el caso de la producción científica relativa al gasto de I+D la situación es algo diferente. Así, la productividad española se sitúa desde 1985 en torno a las 3 publicaciones SCI por millón de ecus gastados, cifra que dobla la media italiana en el período considerado y que supera en más del 50 % a la media de la Unión Europea en 1989. También, aunque a menor distancia, supera la productividad de Suecia y Holanda, aunque esta última experimenta un repunte que la aproxima a los valores españoles de comienzos de los noventa. Tomados en su conjunto, estos dos indicadores sitúan a la productividad científica española a un nivel igual o superior a la media de los países comunitarios, por lo que puede afirmarse que, a este nivel (publicaciones en el SCI), no tenemos problema alguno de convergencia.

Antes de dejar este tema conviene señalar dos aspectos que hacen referencia a la evolución temporal de la productividad científica española y su posición relativa en el contexto europeo. En primer lugar se aprecia que los principales cambios en la producción científica han tenido lugar en el período anterior a 1986, con estancamiento en el