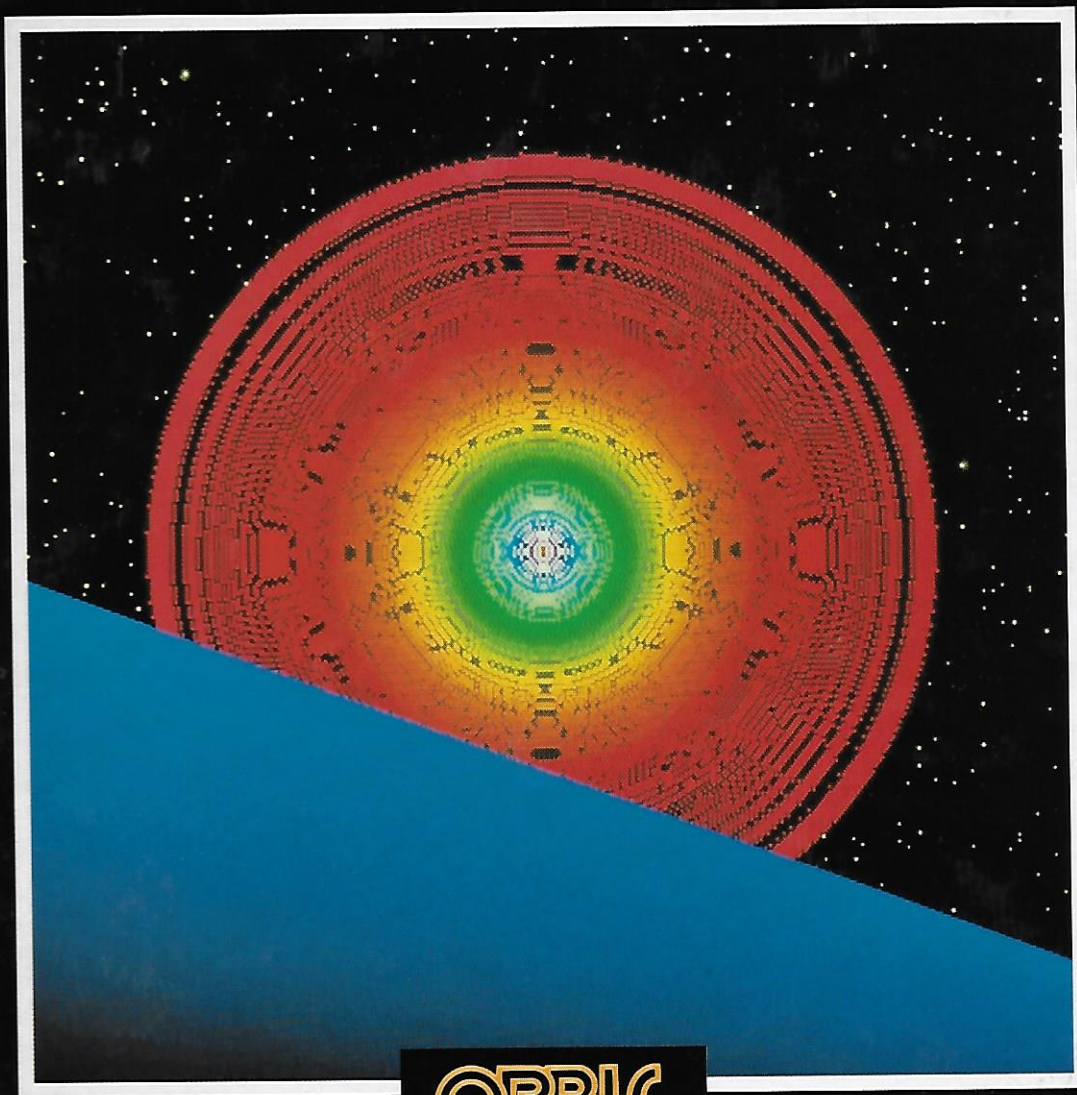


HISTORIA GENERAL DE LAS CIENCIAS

El último cuarto de siglo



ORBIS

VOLUMEN III

LA CIENCIA CONTEMPORÁNEA

III. LOS ÚLTIMOS VEINTICINCO AÑOS
(1963-1987)

POR

JOSEP PLA I CARRERA, LLORENÇ VALVERDE, DAVID JOU I MIRABENT,
EMILI ELIZALDE, RAMÓN CANAL, ENRIQUE BANDA, JAVIER TEJADA,
RAFAEL RODRÍGUEZ, JOSEP MARIA CASACUBERTA, MIGUEL FREIRE,
JOAN O. GRIMALT, LLUÍS MONTOLIU, M.^a PILAR VALLÉS, LUIS RUIZ,
JOSEP VILARDELL, REGINA RAZ, ERNEST GIRALT, EMILI MARTÍNEZ,
FRANCESC ARTIGAS, FRANCESC X. AVILÉS, JORGE BARQUINERO,
ANTONIO SALGADO, PERE PUIGDOMÈNECH

PRÓLOGO GENERAL

POR

PERE PUIGDOMÈNECH

PRÓLOGO

Jamás la ciencia ha tenido una importancia mayor —tanto social y económica, como por los problemas que se plantea— que al final del siglo XX. La tecnología llega a lo más recóndito del mundo, a lo más íntimo de nuestras vidas. La investigación está llevando el análisis científico a lo más lejano del universo, al interior de las partículas elementales o al fondo de nuestro cosmos. Este fin de siglo —y de milenio— es el tiempo de la tecnología.

En las páginas que siguen se ha intentado resumir algunos de los logros más importantes de la ciencia en los últimos veinticinco años: aproximadamente, desde 1963 hasta 1987. Es evidente que la falta de perspectiva puede impedir una adecuada selección de los temas, pero es también innegable que la mayoría de los temas científicos son en la actualidad importantes para uno u otro aspecto de la vida de las gentes. En la última parte de este siglo, todos los campos científicos han experimentado crecimientos más o menos explosivos. La Medicina ha cambiado su aspecto, convirtiendo los hospitales en el reino de la electrónica y la bioquímica. La electrónica ha invadido el mundo, creando nuevas tecnologías que rápidamente se han convertido en esenciales, como la Informática o la Robótica. La Física ha dado lugar a campos como la Fotónica, para comprender el desarrollo de los láseres; ha originado la nueva Ciencia de Materiales; ha unificado la Ciencia de Partículas con la Cosmología, entroncando con algunas de las preguntas más esenciales planteadas por la humanidad desde siempre; y en los últimos tiempos, la Física ha demostrado, con el advenimiento de los nuevos superconductores, que cualquier sorpresa es todavía posible. La Química ha reproducido en el laboratorio las reacciones básicas de la materia y la vida y ha desarrollado técnicas analíticas de precisión inigualable; del éxito de las tecnologías químicas son testigos la sensibilidad de nuestras sociedades a cambios en el mercado del petróleo o la existencia de grandes multinacionales basadas en la Química. La Geología nos da una visión integrada de la evolución del planeta a la espera de adecuados modelos de la circulación atmosférica. Y las ciencias del espacio abren un mundo nuevo que para algunos es la nueva frontera de la humanidad.

En cualquier caso, es evidente que este período se podría llamar “la era de la Biología”. Las comunicaciones por radio o por cable, los transportes de todo tipo, han hecho del tercer planeta del sistema solar una pequeña aldea. Y el

hombre comienza a preocuparse muy seriamente por el equilibrio de su planeta. La palabra ecología se ha vuelto incluso un término político. La preservación de los recursos naturales se ha convertido en un tema urgente. Al mismo tiempo, parece que este equilibrio sólo podrá alcanzarse con el uso adecuado de los recursos que los seres vivos ofrecen; por ello, la biotecnología es una palabra clave en todos los gabinetes de política científica. Pero la biotecnología reposa en un enorme cúmulo de datos biológicos y químicos de una gran variedad de procedencias. La biología en sus aspectos moleculares ha efectuado avances enormes, respondiendo a multitud de preguntas acerca del funcionamiento de los seres vivos y acerca de su patología. Con ello, la biología molecular es en este tiempo la ciencia de mayor impacto.

Los capítulos de este volumen tratan de definir los rasgos más característicos de lo que la ciencia ha conseguido en los veinticinco años que siguen a 1963. Ciertas disciplinas, como la informática o la ciencia de materiales, entran como tales por vez primera; en cambio, otras, en particular las más descriptivas, dejan el paso a las que se ocupan de aspectos más dinámicos. La especialización de los temas es algo esencial en ciencias cada vez más complejas. Ello crea lenguajes y conceptos a su vez más complicados. Sin embargo, los grandes temas, por su mismo interés, continúan estando presentes en la investigación actual, y sus resultados son accesibles en general a cualquier interesado en ellos. Se trata, desde luego, de un capítulo esencial en la Historia de las Ciencias.

PERE PUIGDOMÈNECH

SÉPTIMA PARTE

LA VIDA CIENTÍFICA

La ciencia como actividad económica

LA vida científica en el último tercio del siglo XX presenta acusadas diferencias con respecto a la de tiempos anteriores. Ello es debido en parte a la dimensión que la ciencia misma ha alcanzado. Se ha calculado que el 90 % de los científicos que han existido en cualquier período de la historia están actualmente vivos. Ello indica que la ciencia ya no es una actividad de unos pocos. Los grandes congresos reúnen a miles de personas, y los institutos de investigación se componen de centenares de científicos, técnicos y estudiantes. Al mismo tiempo, el amateurismo ha desaparecido casi por completo. La ciencia es hoy, en su gran mayoría, un producto de profesionales conscientes de serlo. Por otra parte, la profundización de las cuestiones planteadas en la investigación lleva a una progresiva especialización y a una sofisticación extraordinaria en las metodologías. El enorme número de científicos y la gran sofisticación de sus experimentos hacen intervenir un parámetro cada día más importante: el económico. La ciencia es cada vez más cara, y este hecho está cambiando la vida científica a todos los niveles.

La dimensión económica que ha alcanzado la ciencia lo es tanto por el volumen de inversiones que ella representa, como porque en la actualidad el tiempo que discurre entre un descubrimiento científico y su aplicación ha disminuido notablemente. Antes se tardaban decenas de años en hacer llegar a un uso público los resultados de las investigaciones; hoy ese lapso se puede medir a veces en meses. Por otra parte, tanto para la producción como por el hecho de que muchos productos tienen una carga técnica considerable, el elemento tecnológico posee un peso creciente en el valor de un gran número de productos. La ciencia es hoy, en consecuencia, un importante factor de crecimiento económico y de competitividad para las empresas que dominan los avances tecnológicos.

Por lo dicho en el párrafo anterior, no es de extrañar que quienes deben hacer esfuerzos crecientes para financiar la investigación (gobiernos y empresas, fundamentalmente) se preocupen de que estos esfuerzos se rentabilicen de la manera mejor y más rápida. Esto tiene muchas consecuencias para la vida científica. La política científica se está convirtiendo en una asignatura necesaria para los adminis-

tradores de la ciencia, volviéndose una ciencia en sí misma. De esta política se deduce en casi todos los países, cualquiera que sea el color político de su gobierno, que los objetivos aplicados priman en muchos casos sobre los objetivos más básicos. Pero una investigación orientada hacia la aplicación quiere decir una investigación en contacto o incluso supeditada a las empresas, que son las que rentabilizarán los resultados. No hay duda de que esta tendencia evita que los científicos se dediquen a investigaciones académicas sin mucho interés y que hace que la sociedad se aproveche rápidamente de los resultados producidos. Ha provocado también el estímulo a la creación de empresas por parte de los científicos o a que parte de los beneficios de esa aplicación revierta a ellos mismos. El viejo lema «Enriqueceos» ha entrado en el mundo de la ciencia, y sus consecuencias se notarán sin duda a corto y medio plazo.

Es evidente que una ciencia en la que entren consideraciones de ganancia, de rentabilidad y de competitividad introduce elementos nuevos en su actividad. Por ejemplo, las empresas no suelen querer que se dé una gran publicidad a las investigaciones que se hacen y, a menudo, a sus resultados. Ello varía una de las reglas básicas de la ciencia, que ve en la publicación el «producto» esencial de su actividad. Al mismo tiempo, provoca que sea difícil para la comunidad científica, e incluso peor para el gran público, el estar al tanto de lo que se investiga, prever sus resultados y predecir el impacto que estos avances puedan tener sobre la vida de las gentes y sobre la sociedad.

*Gran ciencia.
ciencia pequeña*

La ciencia ha cambiado su dimensión en número de participantes y en su dimensión económica. Se ha introducido en toda actividad de investigación, y especialmente en los campos más avanzados, un elemento decisivo de competitividad que marca profundamente la relación del científico con su trabajo y las relaciones de los científicos entre sí. También ha variado la dimensión de las aproximaciones experimentales de que disponen los actuales científicos. La potencia de las metodologías y de los instrumentos ha ido aumentando de forma exponencial, abriendo campos nuevos a la experimentación. Basta considerar algunos ejemplos para darse cuenta de la nueva dimensión instrumental de la ciencia.

En física, los aceleradores de partículas se construyen en túneles que miden kilómetros. Radiotelescopios y nuevos complejos de telescopios han sido implantados por toda la superficie de nuestro planeta, y hay que considerar la nueva dimensión que para la ciencia ha constituido el disponer de sondas espaciales, plataformas en órbita o incluso llegar a la superficie de la Luna o a nuestros planetas próximos. El estudio de la materia en su composición y estructura está aprovechando cualquier propiedad que permita entrar en el mundo de las interacciones atómicas y moleculares. En particular, la interacción de la radiación con la materia está siendo explotada sistemáticamente. La espectroscopia, la cristalografía, la química analítica o la ciencia de materiales disponen de instrumentos de una progresiva compleji-

dad. En este campo también, el tiempo que se tarda en explotar los descubrimientos se reduce de forma espectacular.

En biología, el instrumental tiende a una mayor complejidad y automatización. Sin embargo, en biología molecular la característica de las nuevas aproximaciones experimentales es el uso sistemático de las mismas propiedades de los sistemas biológicos. El uso de enzimas con propiedades cada vez más precisas, de anticuerpos —y, en particular, de anticuerpos monoclonales— o de kits en los que todo está preparado para efectuar reacciones complejas ha abierto el campo a un comercio en el que genes o proteínas se venden a precios superiores en varios órdenes de magnitud a los del platino. Junto a ello hay que mencionar también un fenómeno nuevo: el de empresas que realizan experimentos, o partes de ellos, por encargo. Es un elemento más, que indica la importancia de los medios económicos en campos en los que la investigación es muy competitiva.

Finalmente, no hay campo de la ciencia que no haya sido profundamente afectado por la irrupción de los ordenadores. Tanto para efectuar cálculos, como para controlar aparatos o para el tratamiento de masas de datos complejas producidas por los instrumentos, los ordenadores son hoy esenciales. Ello es cierto tanto para los pequeños ordenadores personales, presentes al lado de casi cada instrumento y en el despacho de cada investigador, como para los superordenadores, que permiten efectuar grandes cálculos o tratar grandes masas de datos. Para poder seguir las publicaciones o localizarlas es necesario poder consultar bases de datos, consultadas por ordenador, cuya explotación da lugar a un importante comercio.

Los grandes instrumentos implican importantes inversiones. Ello hace que no tengan sentido para un grupo pequeño, y a veces no son abordables ni para un único país. Instalaciones que a veces movilizan miles de millones de dólares son necesarias. Se crea, en consecuencia, la necesidad de una administración para esta «gran ciencia», y con ello surgen críticas a su eficacia, ya que es posible que pequeños grupos dinámicos sean mucho más eficientes. Esta dinámica, ya presente en campos de la física, comienza a entrar en la biología con la definición de grandes proyectos multinacionales.

*La percepción social
de la ciencia*

En parte debido a lo que se comentó en los capítulos precedentes, la sociedad está variando su percepción de la actividad científica. Pero ocurre además que, al irse acercando los resultados de la tecnología cada vez a menor distancia de la vida cotidiana de las gentes, éstas reaccionan a menudo con temor y prevención. Ello ocurre con tanta mayor intensidad cuanto que las nuevas tecnologías no siempre son aplicadas correctamente o llegan a producir efectos indeseados. La energía atómica no podrá jamás liberarse del recuerdo de las bombas de Hiroshima y Nagasaki, y accidentes como los de Three Mile Island o Chernobyl contribuyen a que la población vea con temor su expansión. La química ha debido superar accidentes como los de Seveso con la

dioxina, el de Bhopal en India, las lluvias ácidas en Europa o los efectos de los compuestos clorados sobre la capa de ozono, por sólo citar unos pocos. Si a ello añadimos las discusiones y temores sobre la fecundación *in vitro* o los avances de la manipulación genética, habremos completado un cuadro que no tiene, desde luego, nada de tranquilizador.

Es evidente que en los últimos años la forma como la sociedad percibe la ciencia ha ido variando en distintos sentidos. Que las aplicaciones tecnológicas de la ciencia han dado lugar a resultados inquietantes es algo absolutamente admitido por todos. Y ello provocó en los años sesenta y setenta una prevención creciente, por no decir un rechazo, de estos avances por sectores de las sociedades más avanzadas, particularmente en Estados Unidos y Alemania. El crecimiento de los movimientos ecologistas es un síntoma de ello. Pero en los años ochenta estos elementos críticos han ido siendo aceptados por la mayoría de las sociedades avanzadas, las cuales han ido poniendo controles para evitar la aparición de efectos secundarios. Junto a ello aparece la evidencia de que no es posible una marcha atrás. No hay alternativa a las sociedades tecnificadas. Y, por tanto, la necesidad de aceptar los avances de la ciencia, pero de controlarlos con los medios que la misma ciencia ofrece, ha ido apareciendo a mayores capas de la población. Y en este sentido el interés por la ciencia ha vuelto a crecer de forma extraordinaria, aunque con una mayor madurez. Si a ello unimos que la tecnología es la razón misma de la supervivencia de las naciones más avanzadas en un mundo que se ha vuelto pequeño y extraordinariamente competitivo, veremos cuál es la nueva posición de la ciencia en el mundo de hoy. Se trata, sin duda, de una posición respetable, esencial y central.

La era de la biología Ya sea por el rechazo a ciertos efectos de la física o la química, a la evolución misma de las ciencias o a un cierto agotamiento de las ciencias físicas, lo cierto es que los años transcurridos desde la mitad de los sesenta constituyen la *era de la biología*. Ello a pesar de que la física haya tenido avances importantes. Las teorías de la unificación de las interacciones fuertes y electromagnéticas, los éxitos de la predicción de partículas y el reciente descubrimiento de los superconductores de alta temperatura son algunos ejemplos de avances de la física. Por otra parte, la astrofísica ha continuado produciendo un mundo fascinante de objetos, como los púlsars o los agujeros negros, por no hablar del mismo universo en los momentos iniciales de su existencia. Pero no es menos cierto que todo ello aparece muy lejano del interés real de los individuos que no pueden llegar a comprender la naturaleza de los avances producidos. Quizá también haya que admitir que los fracasos de las teorías formuladas son mayores que sus éxitos. Un síntoma de esa situación lo da la existencia de problemas para financiar el CERN, el centro europeo por excelencia para la física fundamental, o los retrasos en la construcción de nuevos aceleradores de partículas en Estados Unidos. Hay incluso voces autorizadas que hablan de suprimir totalmente tales programas, en

vista —a
obtener
propone
motrices
cosas, y c

Por
medir es
mayor m
En los úl
duce y se
comprende
bases del
en que la
somos ca
quier esp
proyecto
la inform
ahora, sé
pero todo
es hoy la
cumplirá
sanitarios

*Una ciencia
pe*

haciendo
casi impo
para lleva
de las ma
gracias al
veces con
están tral
los result
diversas c
aplicación

Que
co. Porqu
da. Las v
bases de
duda, au

vista —a su parecer— de la discutible relevancia de los resultados que pudieran obtenerse. Esta tendencia está contrarrestada por quienes piensan que la física se propone continuar en la búsqueda de una de las preguntas esenciales que han sido motrices de la ciencia de todos los tiempos: acerca de la naturaleza de todas las cosas, y ello es algo a lo que la ciencia no podrá dejar de responder jamás.

Por otra parte, la biología ha dado unos avances espectaculares. Se puede medir este hecho por el dato de que es en la biología donde se ha aumentado en mayor manera el número de publicaciones, y especialmente las de mayor impacto. En los últimos años, las bases que permiten comprender cómo se almacena, reproduce y se expresa la información genética han sido puestas de forma clara, se han comprendido las bases de enfermedades como el cáncer o las de origen vírico, las bases del metabolismo de las células están siendo comprendidas, así como la manera en que la forma del cuerpo de los animales se define en el embrión. En la actualidad somos capaces de aislar, sintetizar, manipular y reintroducir en prácticamente cualquier especie animal cualquier gen: la ingeniería genética es una realidad. El gran proyecto de secuenciar el genoma humano, lo cual permitirá el conocimiento de toda la información que define un individuo de nuestra especie, está ya en marcha. Por ahora, sólo el cerebro parece oponer una resistencia a los avances de la biología; pero todos creen que sólo es cuestión de tiempo. En consecuencia, la palabra mágica es hoy la *biotecnología*: para algunos, todavía una promesa que quizá nunca se cumplirá; para otros, una solución no traumatizante a muchos problemas actuales, sanitarios, alimentarios o de medio ambiente.

*Una ciencia en compartimientos,
pero unificada*

El científico vive encerrado en su laboratorio y en relación con las gentes que trabajan en áreas cercanas a las de uno mismo. Estar al corriente de lo que se está haciendo en un campo es muy difícil. Seguir los avances globales de la ciencia es algo casi imposible. La especialización en temas muy concretos es una necesidad absoluta para llevar a cabo una actividad eficaz. Las bibliotecas están cayendo bajo el peso de las masas enormes de lo que se publica cada año, algo que sólo puede seguirse gracias al ordenador. Por tanto, la ciencia se encierra en compartimientos muchas veces completamente estancos. Y ello hace que a veces grupos de científicos que están trabajando sobre temas concretos desde puntos de vista muy distintos ignoren los resultados de los otros. La labor de integración de resultados de procedencias diversas es una tarea difícil. Las teorías tienen, a menudo, un ámbito reducido de aplicación.

Que esta situación se produzca en nuestra época presenta un aspecto paradójico. Porque jamás la ciencia ha tenido en su base una teoría tan claramente unificada. Las viejas barreras del mundo animado e inanimado se han roto. Que en las bases de las leyes de la química se encuentren los resultados de la física nadie lo duda, aunque sea difícil a veces superar las barreras metodológicas. Las teorías de