

DESARROLLO CIENTIFICO (El caso de la física moderna)

Luis J. Boya

Abstract

The subject of this paper is scientific progress, taking as example the development of physics in this century.

«La Ciencia es la única actividad humana que es verdaderamente progresiva. El cuerpo del conocimiento positivo se transmite de generación en generación, y cada una contribuye a su estructuración creciente».

E. P. Hubble, *The Realm of Nebulae*, 1936.

«La Ciencia, puesto que trata sólo sobre juicios de adecuación o no entre teoría y experiencia, queda al margen del mundo de los valores. No hay autoridad externa reconocida. Cada hombre apela a su Dios privado y no reconoce tribunal superior».

E. P. Hubble, *ibid.*

«Los santos de hoy no son necesariamente más santos que los de hace un milenio. Nuestros artistas no son más grandes que los de la Grecia clásica, probablemente son inferiores: y, por supuesto, nuestros hombres de ciencia no son necesariamente más inteligentes que los de antes. Mas una cosa es cierta: nuestro conocimiento es al mismo tiempo más extenso y más preciso. La adquisición y sistematización del conocimiento positivo es la única actividad humana que es verdaderamente acumulativa y progresiva».

Sarton, *History of Science*, 1922; citado en Hubble, *loc. cit.*

I. Vamos a tratar en este breve ensayo del progreso científico, tomando principalmente como ejemplo el desarrollo de la física en este siglo veinte. La posición que reflejan las citas anteriores, que es la predominante en el hombre de ciencia común, podría calificarse de «progreso indefinido» o de optimismo ingenuo. Si al lector le suena algo a prosa decimonónica, no es de extrañar: las afirmaciones pueden parecer un poco ingenuas para un filósofo de la ciencia, y demasiado optimistas para el hombre común. Precisamente estamos asistiendo hoy día sino a un rechazo social de la ciencia, sí al menos a una aceptación de la misma mucho menos entusiasta que antaño. En efecto desde Karl Popper por lo menos se cuestiona el progreso científico o al menos un progreso lineal, indefinido. La crítica a la ciencia alcanza un máximo con Feyerabend, para quien la ciencia no goza de ningún *status* especial dentro de las manifestaciones culturales y no tiene garantía alguna, siendo negada totalmente su pretensión de veracidad y de progreso acumulativo.

Aquí vamos a examinar el problema del progreso científico con el telón de fondo de la microfísica contemporánea como caso particular. Queremos indicar en qué sentido la acumulación de datos empíricos, consecuencia de una observación cada vez más cuidadosa y precisa, lleva a concepciones y modelos teóricos que temporalmente pueden resultar satisfactorios. Queremos ver cómo parece avanzarse en el proceso de unificación y concatenación del conocimiento científico, cómo en el curso del tiempo van apareciendo relaciones entre teorías para producir nuevas síntesis y modelos más ampliamente explicativos de la realidad.

Señalaremos también qué criterios nos permiten admirar la supuesta belleza de nuestras teorías y su adecuación a cánones estéticos intuitivos. Queremos, finalmente, enfrentarnos a la aceptación o rechazo de la ciencia por la sociedad en nuestro momento actual, sobre todo en sus aspectos prácticos. Una medida del progreso científico es también ver la situación de la ciencia dentro de la escala de valores culturales que la sociedad califica en un momento dado.

¿Hay «progreso» en el decurso de la marcha de las ciencias? Consideremos la cuestión bajo diversos ángulos, que iremos abordando sucesivamente.

1) Veremos el «progreso» en la acumulación pura y simple de datos experimentales, en la extensión y refinamiento de las observaciones cuantitativas.

2) El refinamiento del instrumental de medida está muy relacionado con (1).

3) Se destilan leyes empíricas cuando hay observadas suficientes regularidades en un fenómeno natural; los escasos científicos «coleccionistas de sellos» (en frase de Rutherford) suelen señalar que aquí acaba la misión de la ciencia.

4) Criterios de simplicidad y estética dictan la etapa progresiva siguiente, en la que las leyes empíricas que regulan un fenómeno determinado se van englobando en un *corpus* de doctrina más extensa, en el que las leyes de (3) son casos particulares.

5) Procesos de incorporación de teorías concretas en marcos cada vez más amplios, reducción de teorías particulares a otras más generales.

6) Progreso al alejarnos del realismo ingenuo: el refinamiento de los conceptos vulgares por el tamiz de la ciencia conduce a limitaciones y restricciones en el uso del sentido común.

7) El progreso tecnológico como consecuencia del avance científico. El dominio creciente del hombre sobre su medio entorno, y los problemas que ello conlleva.

8) La interfaz socio-política: la ciencia no es ninguna panacea, muchas de las optimistas predicciones de salud, felicidad y paz no se han llevado a cabo. La insuficiencia v. gr. de la medicina ante el cáncer o de la técnica frente a la polución, puede llevar, de rechazo, a la subvaloración de la ciencia por la sociedad.

9) Perspectivas futuras: ¿será el tercer milenio una época gloriosa, donde cristalizarán los inventos que ahora se apuntan (e. g. en biogenética) o será más bien una era tenebrosa, un nuevo oscurantismo medieval, dominado por gurus, curanderos y ecólogos?

II. Veamos, a modo de ejemplo, un caso típico de progreso en la instrumentación, a saber, las mejoras obtenidas con el perfeccionamiento del microscopio. La tabla que presentamos (Tabla I) no pretende ser exhaustiva, sino dar una idea del progreso cuantitativo experimental en el poder separador.

Avances en la microscopia

INSTRUMENTO	PODER SEPARADOR	AUMENTO	OBJETOS	AÑO	AUTOR
Ojo humano	0.5 mm				
Lente	0.1 mm = 100 μ m	x 10-20	células	Edad Media	Janssen Galileo Leeuwenhock
Microscopio simple	50 μ m	50	células	1600	
Microsc. compuesto	5 μ m	1.000	órganos celulares	1800	Abbe
Microsc. ultravioleta	1-0.5 μ	3.000	bacterias, cromosomas	1900	
Ultramicroscopio	1-0.5 μ	3.000	suspensiones	1930	
Microsc. electrónico	100-10 nm	150.000	virus, macromoléculas	1940	Ruska
M. de campo iónico	1-0.5 nm	500.000	átomos de cristales	1956	Miller
STM (M. de rastreo)	0.2 nm	1-10 millones	moléculas pequeñas	1985	Benordz

Tabla I

El avance realizado lo podemos resumir así: en cuatro siglos hemos pasado de ver solamente los objetos macroscópicos, hasta el milímetro de tamaño, a llegar a discernir casi los átomos individuales; es lo máximo a lo que podemos aspirar en situaciones estáticas, pero serían de desear progresos en la visión cinemática de las células vivas, como transporte de fluidos por el citoplasma, intercambios núcleo-protoplasma, etc.

III. Consideremos ahora la física atómica en este siglo; es posible que haya sido la rama de la ciencia que más ha progresado, al menos en la primera mitad del mismo. Este progreso hay que entenderlo en el doble frente empírico y teórico; es decir, por una parte el número de hechos de observación que han encontrado cabida satisfactoria en el marco de la física del microscopio ha ido creciendo incesantemente, de otra parte, los marcos teóricos que han amparado la adecuación de modelos y experimentos se han ido también sutilizando y refinando.

Entendiendo la ciencia como «la aprehensión del mundo fenoménico en un todo racional y coherente», los diversos intentos de explicación teórica son consubstanciales con la ciencia misma. Tracemos en algunas pinceladas lo que ha sido la evolución de las teorías físicas (la teoría cuántica sobre todo) a lo largo del siglo.

El advenimiento de la teoría cuántica (M. Planck, 1900) aparece para justificar un resultado experimental inexplicable (incluso contradictorio) para la física clásica. Mientras que Planck admite a regañadientes la discontinuidad cuántica.

Con A. Einstein (1905) y N. Bohr (1913) se reconoce el enorme cambio introducido en la concepción de la microfísica. Ante la magnitud del «abismo» hasta el propio Planck parece, según T. Kuhn, retractarse de su novedosa hipótesis (1912).

Se sospecha que los enunciados cuánticos resolverán el problema de la estructura y estabilidad de los átomos (Bohr, 1913); los postulados de Bohr aparecen como un parche en el entramado de la física clásica. Sensación de provisionalidad e incompletitud de la teoría cuántica antigua (1913–1925).

La teoría atómica de Bohr proporciona modelos correctos de átomos sencillos como el hidrógeno o los metales alcalinos. Pero aparecen dificultades crecientes al tratar la interacción luz-materia (dualidad onda-corpúsculo), o átomos complejos (helio). Las dificultades y excepciones se acumulan hacia desembocar, en 1925, en un nuevo paradigma: la (nueva) mecánica cuántica.

Al introducirla (Heisenberg, 1925) es difícil no proclamar a todos los vientos el progreso y la gloria de la ciencia —en muy pocos años, tres o cuatro, se pasa de las vagas reglas *ad hoc* de Bohr que sirven escasamente para el átomo de hidrógeno, a que todos los problemas atómicos y moleculares, susceptibles de un tratamiento matemático simplificado, puedan ser completamente explicados y comprendidos, incluso en sus efectos más finos—. Como la lista de éxitos sería interminable, citemos solamente dos: en 1926 Heisenberg explicó el espectro del átomo de helio por las reglas de la nueva mecánica, lo que abrió el camino para la explicación de los espectros complejos, y al año siguiente Heitler y London probaron que la aplicación de la nueva mecánica cuántica a la molécula de hidrógeno da una explicación cabal del enlace covalente sobre el que está basada toda la química.

Consecuencia de la nueva mecánica es también el principio de exclusión de Pauli (1925), que debe presentarse como el verdadero «principio diferenciador» de la

naturaleza. Sólo un fenómeno macroscópico resistió durante treinta años a la explicación cuántica, la llamada «superconductividad»; no fue hasta 1957 (Bardeen, Cooper y Schrieffer) que el enigmático fenómeno fue comprendido en el contexto de la moderna teoría cuántica del estado sólido.

La fórmula de Balmer, que da cuenta de los niveles de energía del átomo de hidrógeno, nos puede servir para calibrar el progreso en física atómica. Fue propuesta por Balmer en 1885 y reproducía con unos pocos tantos por ciento la segunda serie de las líneas espectrales del hidrógeno. Hoy conocemos más de seis series y cientos de niveles, los primeros de los cuales con precisión superior a mil millones. El desdoblamiento del segundo nivel (efecto Lamb) ha producido una revolución teórica considerable (teoría de la renormalización, 1947-1952).

IV. Desde 1930 la evolución de la física microscópica ha sido más desordenada. El progreso en la ciencia subatómica es muy irregular, y al abrirse las nuevas fronteras de la física nuclear y de las partículas elementales aparecen numerosos interrogantes nuevos, nuevos retos a la teoría y al cálculo matemático, cuestiones que en conjunto no se responden con el grado de nitidez y completitud que las análogas preguntas en física atómica. Si bien es cierto que estamos en posesión de una ciencia del núcleo atómico muy sólida, elaborada entre 1930 y 1960, y que poseemos una descripción cualitativa casi exhaustiva de las propiedades de la materia nuclear, no lo es menos que ni siquiera el deuterón, el núcleo compuesto más sencillo, que tiene sólo un protón y un neutrón, y ni siquiera posee estados excitados, está totalmente comprendido en sus aspectos cuantitativos más finos.

La teoría de las partículas elementales se desgaja como una rama propia de la física hacia 1950, y desde entonces ha tenido unos avances más bien anárquicos. Conocemos hoy día experimentalmente cientos de niveles subnucleares, pero la «tercera» espectroscopía, la comprensión ordenada de esos niveles, está en buena parte por hacer. En particular, comprendemos algo de las estructuras «hadrónicas» con el modelo de quarks (Gell-Mann, 1964), pero estamos completamente a ciegas en lo que afecta a unas ciertas repeticiones en el mundo leptónico y de quarks, es decir, el llamado problema de las generaciones: el electrón, por ejemplo, ese viejo conocido, identificado ya hace más de un siglo, presenta dos «hermanos», los llamados muón y tauón, que aparecen como un caso de redundancia innecesaria.

La «lujuria» de la naturaleza, que podemos observar al mirar al cielo con sus millones de estrellas y de galaxias, perfectamente inútiles para el hombre, se repite por doquier: en los seres vivos (los peces, por ejemplo, ponen millones de huevos) y en la superabundancia de partículas...

Sin embargo, hay un progreso conceptual indudable en los últimos desarrollos teóricos. Desde 1970 se contempla una fuerte tendencia a la unificación de las fuerzas naturales, prosiguiendo un programa que inauguró Maxwell el siglo pasado y que en el presente alentó Einstein. Lo más que podemos decir es que el programa de unificación «electrodébil» de Weinberg y Salam (1967-68) ha sido exitoso, pero ni la «gran unificación» (Georgi y Glashow, 1974) ni la «superunificación» han triunfado por el momento. Se barajan multitud de ideas nuevas, difíciles de explicar al lego, como la supersimetría, la teoría de cuerdas o la adjudicación de simetrías extra al espacio. El futuro dirá hasta qué punto este período reciente (1975-1990)

en la investigación del mundo microfísico representa un verdadero progreso en nuestro conocimiento exacto del cosmos, o más bien, como algunos opinan, un «divertimiento» matemático sin mucho que ver con la realidad.

La situación actual en el dominio de las partículas es pues de «impasse»; desde 1974 no ha habido ningún progreso «real», en el sentido de explicar satisfactoriamente nuevos (o viejos) hechos experimentales; los últimos trabajos en física teórica desde 1980 reflejan un alejamiento de la misma con respecto al mundo microfísico. Se desarrollan teorías de gran belleza matemática, muy complejas, que enlazan sin embargo más con la matemática pura que con el mundo real. Así, no es de extrañar que la figura más representativa de este período, el físico teórico E. Witten, haya recibido la medalla Fields en 1990 (el «Premio Nobel» de matemáticas).

V. Uno de los aspectos paradójicos de la ciencia que queremos destacar aquí es que muchas veces el «progreso» consiste en descubrir las propias limitaciones en general apercebidas al apartarnos del realismo ingenuo. Por ejemplo, la materia se nos aparece compacta e impenetrable, pero sabemos que los átomos están realmente vacíos, que el núcleo atómico ocupa menos de la billonésima parte del espacio atómico. Tenemos también el ejemplo del poder separador del microscopio: no por más aumentos que tenga una lente se ve mejor.

Los avances de la física contemporánea han sido singulares en este aspecto, y se han ejemplarizado en el famoso «principio de incertidumbre» de Heisenberg (1927). Resaltando el aspecto operacional de la física, al contrario de su concepción ontológica aristoteliana, aparecen muchas limitaciones al no poder dar sentido operativo a muchas concepciones vulgares. Pongamos varios ejemplos:

1) No se puede superar una velocidad límite, la velocidad de la luz; no sólo nada se puede mover más deprisa, tampoco la transmisión de información puede superar esa barrera, la velocidad de la luz. El aspecto positivo de esta obvia limitación es que casi toda la teoría de la relatividad especial, incluyendo la conversión de materia en energía, se puede deducir de este postulado limitador. A. Einstein lo entendió perfectamente (no así muchos físicos posteriores), y puso el principio de constancia de la velocidad de la luz a la cabeza de sus postulados relativistas.

2) Otra consecuencia limitadora de la relatividad especial es el concepto de tiempo propio, el hecho de que observadores en movimiento relativo no miden el mismo tiempo. Esto lleva a la célebre paradoja de los gemelos, que por brevedad no exponemos aquí.

3) Rutherford y Bohr ya advirtieron que el átomo planetario incorporaba un elemento indeterminista, pues ¿quién le dice al electrón de la órbita superior en qué momento debe «caer» al nivel inferior? y ¿en qué dirección se propaga el tren de ondas luminoso que se crea entonces? Tanto la desintegración radiactiva como la deexcitación atómica introducen un elemento estadístico, acausal, perturbador, al que mentes como Einstein o Schrödinger nunca pudieron someterse.

4) Tampoco podemos «ver» realmente las órbitas de los electrones alrededor del núcleo, todo intento de lograrlo conduce a la desintegración del átomo. Esto lleva al concepto de «nube electrónica» o de orbital, que es una manera de conjugar nuestra ignorancia.

Heisenberg opinaba que el avance del conocimiento en microfísica llevaría con-

siguieron nuevas y más drásticas limitaciones de la intuición vulgar, del realismo ingenuo. Enunció su famoso principio, que fija cuantitativamente la imprecisión en la medida de observables complementarios.

5) Bohr veía estas limitaciones en una filosofía de «complementariedad»: cuanto más nos fijamos en un aspecto de la realidad, más omitimos otros. Bohr llevó su principio incluso al dominio de los seres vivos, diciendo que sería incompatible el estudio bioquímico exhaustivo de los mismos con la existencia de funciones biológicas activas superiores.

6) Experimentos refinados recientes de Aspect y otros (1985) han puesto de relieve otra limitación fundamental de la visión cuántica del mundo, a saber, el abandono del realismo local: la posición, fundamentalmente filosófica, de que las cosas existen independientemente de nuestra observación. Este fue un punto que Einstein nunca pudo aceptar e ideó el experimento «EPR» para ello. La posición cuántica ortodoxa queda reflejada en la frase de J. A. Wheeler cuando dice que «no hay fenómeno hasta que es un fenómeno observado».

VI. Vale la pena ya resumir un poco las características que presenta la evolución de la Ciencia y su pretendido progreso.

1) La acumulación de información experimental casi siempre representa un progreso lineal. Hay que ser precavidos, sin embargo, y existen diversos ejemplos de experimentos poco controlados que han llevado a conclusiones apresuradas falsas; los rayos N, el agua polimérica de los rusos o la fusión fría son tres ejemplos.

2) La asunción de diversos datos y leyes empíricas en un corpus teórico representa generalmente un avance importante; no se olvide, sin embargo, que las teorías verdaderamente revolucionarias tienen carácter de creaciones libres del espíritu humano.

3) Ciertos criterios estéticos, de alguna manera innatos en los científicos, colorean también las teorías y determinan realmente su aceptación; así decimos, por ejemplo, que la teoría de la renormalización es fea, o que las teorías «guage» son bellas. Eminencias como Einstein, Dirac o Feynman opinan que la estética es un criterio válido en ciencia.

4) Casi todos los científicos detentan un tácito (y sano) reduccionismo: según éste, las ciencias parciales están concatenadas unas con otras; así entendemos hoy la química como campo de aplicación de la mecánica cuántica, o la biología la reducimos a la química (y a la física, por consiguiente). El ejemplo favorito es la reducción de la termodinámica a la mecánica estadística, pero este caso es equívoco en nuestra opinión.

En este contexto saludamos los modernos intentos de unificación de fuerzas como un verdadero progreso, con su gran carga de simplicidad y descripción de la realidad «more geométrico»; si bien, como hemos dicho, los éxitos no son muy numerosos por el momento.

5) El prodigioso éxito de las matemáticas en la descripción del mundo físico ha cautivado a mentes como E. P. Wigner. Hoy día asistimos a una situación singular (aunque probablemente está terminándose). La sofisticación matemática de la física revierte y rebota en matemática pura, donde muchos avances modernos (teorías de nudos, espacios de cuatro dimensiones, grupos infinitos) han estado inspirados por la física.

VII. La actitud social (e incluso política) determina en buena parte como se sopesa el «progreso» de la ciencia. En el entusiasmo del siglo XIX se escribían odas a la máquina de vapor, pero ese entusiasmo ha decaído mucho hoy día. Se presentan como «progreso» visiones anticientíficas e incluso irracionales de la realidad. La investigación nuclear aplicada, la recombinación genética, incluso la exploración espacial (¡hace 23 años que fuimos a la luna!) no cuentan con el entusiasmo popular, para decirlo de manera suave. Se ridiculiza a los «nuevos redentores», que propugnan las excelencias de la ingeniería genética.

Para algunos, el autor incluido, estas tendencias apuntan a un futuro no muy risueño para la ciencia pura y la investigación. Los ecologistas extremos querrían suprimir las centrales nucleares, las líneas de alta tensión o los vuelos supersónicos. La Antártida debe quedar inexplorada, dicen. ¿Estaremos en el umbral de una nueva Edad Media, oscurantista y misteriosa? ¿Es el fundamentalismo musulmán una repetición funesta del furor de los cruzados?

¿Equivalen la astrología, los curanderos y los «gurus» a la escolástica? Pues se critican los valores tecnológicos en nombre de los valores sociales, como en el medioevo se despreciaban los saberes científicos por no contribuir nada al hombre religioso.

Y es que quizá desde el punto de vista pragmático la ciencia se presenta con sus grandes contradicciones; a veces triunfa totalmente con un arma nueva, producto de un descubrimiento (por ejemplo, la curación de las enfermedades infecciosas por los antibióticos). En otras, el progreso práctico es insignificante frente al esfuerzo empleado (ejemplo, la lucha contra el cáncer), o bien aparece algo nuevo, totalmente inesperado, que coje a la tecnología por sorpresa (el SIDA).

La gente exige demasiado quizá a la ciencia y a la técnica: exige la felicidad, pero ésta no aumenta linealmente con nuestros deseos, sino que depende de la adecuación de nuestros deseos con nuestros logros. La humanidad sufre de hambre, de miedo y de pobreza como siempre, y en algún sentido más que antes. No es para extrañarse si se reprocha al progreso científico y técnico que la riqueza y la felicidad se hayan repartido de manera tan desigual.

Luis J. BOYA
Universidad de Zaragoza