

El concepto de progreso científico hoy

Angelo Maria Petroni

Existen dos tipos de razones por las que se puede afirmar que el concepto de progreso científico debe ser considerado una categoría fundamental de la cultura y de la historia de nuestro tiempo. Como intentaré demostrar, hay razones teóricas, y hay razones prácticas.

La importancia actual del concepto de progreso científico

Aparentemente el concepto de progreso científico necesitaría tener su propia justificación, una *apología pro vita sua* en esta era de la postmodernidad que parece haber disuelto toda universalidad en la fragmentación de las categorías del pensamiento y de la historia en un particularismo relativista del tiempo y del espacio en el que el único discurso epistemológico posible también moral, sería el contextualista, sin que se puedan sostener relaciones causales uni-

versales o, en todo caso, en principio universalmente generalizables.

Se sabe que el progreso científico es una categoría propia de la modernidad. Descrito, o más bien imaginado, por Francis Bacon, el concepto de progreso científico toma sustancia a medida que de la cinemática del *De Revolutionibus orbium coelestium* (1543) de Nicolás Copérnico se llega, a través de Galileo Galilei, a la mecánica de los *Philosophiae naturalis principia mathematica* (1687) de Isaac Newton.

El mundo antiguo no conoció visiones coherentes y orgánicas del progreso del conocimiento científico. Como es ampliamente sabido, el propio concepto general de progreso, tanto en el campo moral como en el material, nunca tuvo, ni en el mundo griego ni en el mundo de la latinidad clásica, la intensidad y el alcance que tendría después del advenimiento del cristianismo.

Sin embargo, el concepto de progreso científico es algo mucho más específico. El mundo griego poseía todas las categorías epistemológicas en el campo de las ciencias naturales –desde el concepto de ley de la naturaleza hasta el de axiomática; desde el concepto de determinismo/indeterminismo hasta el de la matematización de la naturaleza– pero no poseía la categoría de la probabilidad –la cual será el fruto de una extraordinaria unión entre la filosofía moral de Blaise Pascal y el interés de los matemáticos franceses de la época por los juegos de cartas que se llevaban a cabo en la corte de Versalles–, por lo que se puede afirmar razonablemente que no poseía la categoría de progreso científico. Naturalmente esta generalización no excluye el hecho de que también en la antigüedad haya habido algunos pensadores –no muchos en realidad– que se plantearon el tema del incremento del conocimiento.

Quisiera recordar las palabras de Lucius Annaeus Séneca, *cor-dubensis* y *cives romanus*, que en el VII libro (25, 4-5) de *Naturales quaestiones* escribía:

Llegará un día en que lo que para nosotros es un misterio quedará esclarecido por el transcurso de los años. No basta la vida de un hombre para tan grandes investigaciones, aunque la consagrarse exclusivamente a la contemplación del cielo. ¿Qué ha de suceder si tan escaso número de años los dividimos, y no por mitad, entre el estudio y los vicios? Estos fenómenos se explicarán sucesivamente y mediante largos períodos. Llegará un tiempo en que nuestros descendientes se asombrarán de que hayamos ignorado cosas tan sencillas.

El progreso científico, considerado como una categoría intelectual, es un hijo histórico de la revolución astronómica y física, asumiendo un papel central en la filosofía del Iluminismo, especialmente el francés. El concepto de un progreso continuo de la ciencia tendrá la función, estrictamente ideológica, de justificar la sustitución de la razón sobre la historia, la tradición y la religión. El *Esquisse d'un tableau historique des progrès de l'esprit humain* (1795) del Marqués de Condorcet representará su punto culminante.

El progreso científico asumirá entonces una condición general del progreso moral y material de la humanidad. Desde el punto de vista antropológico, ambos se basan en la «*perfectibilité indéfinie de l'esprit humain*». Las esperanzas de la futura condición de la especie humana «*peuvent se réduire à ces trois points importants: la destruction de l'inégalité entre les nations; les progrès de l'égalité dans un même peuple; le perfectionnement réel de l'homme*».

El siglo XIX y el Positivismo

El siglo XIX estará dominado por el concepto del progreso científico, como descripción y como prescripción. Y lo será en conexión indisoluble con el concepto –y la realidad– del progreso tecnológico, es decir, de la aplicación de la ciencia.

Mientras que la acuñación del término «*scientist*» se debe a William Whewell en 1833, la expresión «*applied science*» había sido acuñada previamente por Thomas Coleridge en 1817, en un peculiar sentido kantiano donde la ciencia pura era un conocimiento *a priori*, mientras la «*applied science*» era un conocimiento *a posteriori*. No fue sino a mediados del siglo XIX cuando apareció el significado contemporáneo de «ciencia aplicada», es decir, el de un conocimiento científico del cual se pueden derivar directamente las soluciones tecnológicas a los principales problemas prácticos de la humanidad.

La idea de progreso científico/tecnológico del siglo XIX está indisolublemente unida a la filosofía positivista, máxime en su versión francesa. En tanto que forma extrema del empirismo, el positivismo planteaba que todo valor epistémico de la ciencia derivaba del contenido de las observaciones y de los resultados experimentales. La diáda del método científico fundado por Galileo, que diferenciaba entre «experiencias sensatas» y «demostraciones ciertas», iba tendiendo cada vez más hacia la primera de las opciones.

John Stuart Mill fue el principal artífice de una concepción de la ciencia en la que el progreso era eminentemente *acumulativo* y *unidireccional*. Las teorías científicas tenían una tarea esencialmente clasificatoria y utilitaria. Eran el resultado de procesos lógicos y psicológicos inductivos, y no podía haber nada en las teorías que no hubiera estado ya en las observaciones y en los resultados experimentales. Realmente no había mucho más, en la idea de aquel funcionario de la Compañía de las Indias, que la voluntad de extender la epistemología del sentido común de John Locke hacia la ciencia del siglo XIX.

El corolario de la visión positivista de la ciencia era el de establecer la mecánica newtoniana, mejorada y ampliada por Pierre Simon de Laplace, como término invariante *ad quem* y como con-

junto de toda ramificación posible, sea hacia la que será luego llamada «microfísica» o «física de la materia», sea hacia la investigación de los fenómenos eléctricos y electromagnéticos, desde André-Marie Ampère hasta Michael Faraday y James Clerck Maxwell.

La segunda mitad del siglo XIX vivirá un continuo y al mismo tiempo formidable progreso de las ciencias físicas y de la ideología positivista. Las visiones alternativas, originadas a partir del apriorismo kantiano o de la filosofía de la naturaleza hegeliana e idealista, se quedarán estrictamente confinadas, bien dentro del perímetro de la reflexión filosófica, bien dentro del ámbito de las *Geisteswissenschaften*, las «ciencias del espíritu», estrictamente separadas de las *Naturwissenschaften* por la contraposición entre el método hermenéutico del *Verstaendnis*, (de la «comprensión») de las primeras, y el método de la *Erklaerung*, (de la «explicación») de las segundas, que consistió en la creación de modelos lógico-matemáticos que unieron los datos a las teorías.

La «crisis de las ciencias europeas»

Justo al final del «siglo largo» –parafraseando la genial expresión de Eric Hobsbawm– se hizo evidente lo que en 1934 Edmund Husserl llamó «*Die Krisis der Europaeischen Wissenschaften*». El testamento espiritual de Husserl es un magnífico ejemplo de que la filosofía, como en la metáfora hegeliana de *Die Eule der Minerva*, («el búho de Minerva», que sólo alza el vuelo al terminar la luz), sólo llega a explicar la realidad cuando concluye su proceso de realización, de «convertirse en verdad».

Si bien es cierto que en 1934 la crisis de las ciencias europeas en realidad ya había terminado, y que las ciencias físicas –y no sólo las físicas– se encontraban en una fase de extraordinario florecimiento, también es cierto que tales ciencias ya habían vivido una

crisis de sus fundamentos conceptuales durante la época en la que Husserl, reflexionando sobre la naturaleza de la matemática, había sentado las bases de la fenomenología.

La crisis fue esencialmente una crisis epistemológica. Considerada como un límite «trascendental», usando metafóricamente un término kantiano, la verdad de la mecánica clásica como cualquier progreso podía consistir o bien en un progreso en los datos basados en la observación o en los datos experimentales, o bien en un progreso de las herramientas matemáticas para la aplicación de tales datos a la explicación y predicción de los fenómenos. La famosa solución dada por Henri Poincaré en 1890 al secular problema conocido como «de los tres cuerpos», es decir, al problema de calcular, dadas las posiciones iniciales, las masas y las velocidades de tres cuerpos sujetos a una atracción gravitacional recíproca, la evolución del sistema por ellos formado, es un ejemplo paradigmático de ello.

El punto crucial es que si una teoría científica asume el *status* de estructura trascendental pasa de ser verdad empírica a ser verdad analítica, o casi analítica. En otras palabras, sus aplicaciones se transforman de explicaciones empíricas, que pueden ser verdaderas o falsas, en instrumentos de descripción de los fenómenos, a los que se aplican las diferentes categorías de utilidad en las distintas gradaciones.

De esta manera, a finales del siglo XIX, el *convencionalismo* y el *instrumentalismo* se convirtieron en las dos visiones dominantes. La ideología del empirismo positivista se transformó dialécticamente, dando paso al resurgimiento de los modelos epistemológicos que dominaban la astronomía antes de Copérnico y de Galileo.

Pierre Duhem fue el mayor teorizador de la segunda. En el cumplimiento de la mecánica clásica quiso ver el triunfo –en realidad muy póstumo– del Cardenal Roberto Bellarmino sobre Galileo Galilei. La ciencia no puede hacer aserciones verdaderas sobre

la realidad sino solamente generar herramientas de cálculo que permitan *to sozein ta phainomena*, (salvar los fenómenos). Por consiguiente, el progreso científico no podrá definirse como un avance *hacia* una verdad cada vez más amplia y profunda sino como un aumento de las capacidades instrumentales. Con esto se redimensiona el ideal de la ciencia como *itinerarium mentis in veritatem* que desde la Revolución científica renacentista acompaña, cuando no lo reemplaza, el ideal de la filosofía y teología medieval que como *itinerarium mentis in Deum* se originó con Buenaventura de Bagnoregio.

El concepto de contraposición entre las experiencias y las teorías, para que las segundas se derivaran siempre de las primeras, constituye una de las piedras angulares de la epistemología y la metodología positivista, incluso antes de que lo negara el empirismo baconiano (piénsese en el concepto de *experimentum crucis*). Cualquier comparación entre teorías es siempre y solamente una comparación holística:

Le physicien ne peut jamais soumettre a contrôle de l'expérience une hypothèse isolée, mais seulement tout un ensemble d'hypothèses; lorsque l'expérience est en désaccord avec ses prévisions, elle lui apprend que l'une au moins des hypothèses qui constituent cet ensemble est inacceptable et doit être modifiée; mais elle ne lui désigne pas celle qui doit être changée.

El libro en que Duhem expresa esta tesis fue publicado en 1906, justo un año después de la publicación de *Zur Elektrodynamik bewegter Körper* de Albert Einstein. La tesis, retomada por Willard van Orman Quine en 1951, será uno de los argumentos más contundentes utilizados por quienes, en la segunda mitad del siglo XX, quisieron negar la racionalidad del avance de la ciencia y al mismo tiempo la posibilidad de definir el progreso científico de manera lineal.

Por otro lado, la visión convencionalista se dedicó a definir qué conceptos fundamentales de la física clásica, como el segundo principio de la dinámica, tenían esencialmente un valor definitorio-sintáctico. Esta visión se extendía a los conceptos matemáticos, de los que se negaba cualquier fundamento en una intuición humana, como por ejemplo la geometría euclidiana, que perdía toda posición privilegiada con respecto a las de Riemann o de Lobacevskij. Más aún: el concepto de geometría se separaba del de verdad descriptiva.

Las revoluciones de la mecánica cuántica y de la mecánica relativista y la difusión del método hipotético-deductivo

Si bien es cierto que los dos grandes modelos epistemológicos que se oponen entre sí al describir –y tal vez también explicar o comprender– el método de la ciencia son el inductivo y el hipotético-deductivo, no es menos cierta la afirmación de que la ciencia se ha dirigido hacia un modelo hipotético-deductivo a través de un fuerte cambio práctico y epistemológico partiendo de la crisis causada por las concepciones instrumentalistas y convencionalistas que han llevado a muchos a creer que la visión del progreso científico originada por la revolución de Copérnico estaba agotada, constriñendo la ciencia entre dos modelos antagónicos: el modelo físico inalterable y el modelo del *Ignorabimus* de Emile du Bois-Raymond, con la enunciación de los siete «misterios» que habrían escapado para siempre a la explicación científica. Y que, desde principios del siglo XX hasta nuestros días, pese a los espectaculares y muy recientes resultados de la física de altas energías, el progreso de la ciencia se debe al hecho de que, en la eterna dialéctica entre la experiencia y la teoría –o, si se prefiere, entre la experiencia y la razón–, el modelo que se ha impuesto es el hipotético-deductivo, en contraposición al inductivo.

Resulta significativo que el instrumentalismo y el convencionalismo no fueran de ninguna manera las visiones dominantes ni las más difundidas entre los químicos de la época. Una hipótesis explicativa coherente con lo anterior es que en este campo de investigación no existía una teoría dominante como en la física. Además, y quizás aún más importante, una de las técnicas heurísticas dominantes de la química fue la teoría implícita en las tablas periódicas de Meyer (1864) y Mendeléyev (1869), que contenían una lógica de predicción de los fenómenos (elementos) aún no observados, interpolados en los elementos ya detectados (los «espacios vacíos») y extrapolados hacia una dirección identificada. Una teoría del contenido predictivo tan fuerte que también permitirá incluir elementos creados artificialmente a lo largo de décadas.

El nacimiento de la mecánica cuántica tiene lugar «oficialmente» en 1900, con el ensayo de Max Planck *Ueber Verbesserung der Wienschen Spektralgleichung*. En 1878 Johann von Jolly, eminente físico experimental, ya había disuadido a Planck, que tenía veinte años de edad, para que iniciara sus estudios de física, considerando que en aquel campo ya había sido descubierto todo y que sólo habían quedado lagunas vacías por llenar.

El nacimiento «oficial» de la mecánica relativista tuvo lugar con el ensayo de Einstein de 1905. La relatividad restringida (especial) se extendió a la relatividad general con los cuatro ensayos de 1915, comenzando con *Grundgedanken der allgemeinen Relativitätstheorie und Anwendung dieser Theorie in der Astronomie*.

Ni la mecánica cuántica ni la relativista habrían sido posibles –la segunda aún más que la primera– sin la deconstrucción, como diría un filósofo postmoderno, de los conceptos de la física clásica, tanto de la teoría newtoniana como del electromagnetismo, por parte de Ernst Mach, y sin que se hubiera consolidado una conciencia general de los límites del progreso del conocimiento que sus fundamentos representaban.

Lo que se puede sostener, y creo que es lo más relevante, es que tanto la visión cuántica como la visión relativista no derivaron –y no pudieron derivar lógicamente– de un proceso de tipo inductivo, para cada una de las configuraciones que se han definido para esta última. Esto se puede entender muy bien refiriéndose al celebrísimo intento realizado en el siglo XX de dar forma y sustancia a una lógica (inductiva) del descubrimiento de las leyes de la naturaleza, la tentativa de Herbert Simon, uno de los padres fundadores de la Inteligencia Artificial.

En un ensayo de 1977 afirmaba que:

Law-discovery means only finding patterns in data that have been observed. A law-discovery process is a process for recoding, in a parsimonious fashion, sets of empirical data. A normative theory of scientific discovery is a set of criteria for evaluating law-discovery processes.

He dedicado una parte importante de mis investigaciones, llegando a una conclusión negativa, a analizar si la definición de Simon –sobre la que se basa todo su importante trabajo y el de su escuela de construcción de modelos de Inteligencia Artificial que puedan tener la fuerza lógica y la suficiente adecuación historiográfica para reproducir algunas de las grandes leyes naturales de la historia de la ciencia, desde la Tercera Ley de Kepler hasta la ley de Coulomb y el ciclo de Krebs– era generalmente adecuada desde un punto de vista descriptivo. Estoy profundamente agradecido con Simon por la actitud que demostró hacia mis posiciones a lo largo de los años y en numerosas sedes.

Más allá de la cuestión de la idoneidad general, lógica e historiográfica de la definición simoniana del descubrimiento de las leyes científicas, es cierto que los dos grandes descubrimientos paradigmáticos de la física contemporánea –las leyes fundamentales de la microfísica cuántica y las leyes fundamentales de la macrofísica relativista– no tuvieron nada que ver con una «*recoding*,

in a parsimonious fashion, sets of empirical data». No había nada en los «datos» a disposición de Planck, y menos aún en los «datos» disponibles para Einstein, de los que fuera posible derivar, por interpolación, extrapolación o cualquier otro razonamiento inductivo-estadístico, que la materia y la energía tuvieran una naturaleza discreta, que la masa tuviera una cantidad vectorial y no escalar, y que la luz estuviera sujeta a la atracción gravitacional.

Baste con mencionar esta última noción. Como consecuencia directa de la Relatividad General, la curvatura de la luz (solar) fue observada desde la Isla de Príncipe, en la costa oeste de África, por Arthur Eddington en 1919, utilizando el eclipse solar del 29 de mayo. Pero ninguna observación o experimento óptico, ya sea clásico o electromagnético, había registrado nunca un recorrido de luz que no fuera rectilíneo, ni en los laboratorios, ni en las observaciones del universo, ni siquiera con instrumentos precisos y poderosos como los que ya entonces estaban a disposición de los físicos y astrónomos. Epistemológicamente, la Relatividad General introduce un concepto que por intensidad y por extensión no estaba contenido en los datos anteriores *ni siquiera como una singularidad*.

La experiencia y la teoría entre la revolución de la física del siglo XX y la revolución científica de los siglos XVI y XVII

Es suficiente considerar un sólo elemento de entre todos los posibles. Esta última tenía dos fundamentos. Primero, el heliostaticismo/heliocentrismo de Copérnico. En segundo lugar, el principio de inercia de Galileo que permitió la formulación de las leyes del movimiento y el nacimiento de la mecánica moderna, con la unificación de la física terrestre y la física celeste a la que Newton llegaría.

Ninguna observación astronómica y ningún experimento había registrado jamás la rotación de la Tierra ni su traslación; sobre la primera, hubo que esperar a finales del siglo XVIII para tener algunas experiencias, no concluyentes, que en 1851 fueron definitivas con Foucault; sobre la segunda, fue necesario esperar a la medición del paralaje estelar, hecha por Friedrich Wilhelm Bessel en 1838.

En cuanto al principio de inercia, ninguna observación o experiencia, desde las del sentido común hasta las elementalmente experimentales de la era de Galileo –o, si se prefiere, de los *calculatores* del Merton College de Oxford en el siglo XIV–, había registrado nunca un movimiento que permaneciera en el mismo estado si no hubiera fuerzas externas actuando sobre él.

La Revolución Científica, desde Copérnico a Newton, fue posible porque cada concepto fundamental era introducido de una manera *contra-inductiva* y porque los grandes innovadores siguieron de hecho un método hipotético-deductivo. Las observaciones y experimentos tenían la función de controlar la idoneidad de las hipótesis teóricas –o, más a menudo, la idoneidad de los modelos matemáticos para la predicción de fenómenos, basados en la conjunción de datos y relaciones expresables mediante leyes– pero no eran y *no podían ser* el origen, ni lógico ni psicológico ni histórico, de los conceptos fundamentales de la nueva ciencia.

No comprender estas verdades de la historia y de la estructura de las dos grandes revoluciones de la ciencia fue la razón del fracaso sustancial del neopositivismo lógico, el movimiento más importante de la filosofía de la ciencia del siglo pasado. El neopositivismo creía que la revolución cuántica y la revolución relativista podían estructurarse según los esquemas cognitivos del antiguo positivismo cuando se le añadían los instrumentos de la lógica formal moderna y el concepto de experiencia se refinaba a través de las lentes de la teoría psicológica de Mach. Pero el pro-

blema no radicaba ni en los instrumentos lógicos ni en la idoneidad del concepto de «experiencia» de Mach –primero– y de Moritz Schlick y Otto Neurath –después–, este último destinado además a chocar con los resultados de la psicología contemporánea de la *Gestalt*.

El principal resultado del neopositivismo, como fue la construcción de una lógica inductiva de la confirmación de las teorías partiendo de los *Protokollsatz* que registraban o debían haber estructurado lingüísticamente los resultados de observaciones y experimentos, fueron llevados a su punto más alto por Rudolf Carnap con *The Logical Foundations of Probability* (1951), quien tendrá problemas de idoneidad interna por no poder definir satisfactoriamente el cómo atribuir un grado finito de probabilidad a una proposición estrictamente universal, la forma lógica de las leyes de la física.

De la lógica inductiva del cálculo de las probabilidades de las leyes de la naturaleza sobre la base de la experiencia se derivó el *explicatum* neopositivista del concepto de progreso científico: el camino hacia leyes cada vez más probables. Pero este *explicatum* simplemente no corresponde a cómo la ciencia ha hecho sus mayores progresos en la investigación de la naturaleza, a través de sus momentos revolucionarios.

Las revoluciones en la ciencia

The Structure of Scientific Revolutions de Thomas S. Kuhn (1962) volverá a colocar el tema de las revoluciones científicas en el centro de la historia y la filosofía de la ciencia. Kuhn presentará dos tesis fundamentales. La primera es que el camino de la ciencia ve una sucesión de lo que él llama «ciencia normal» y de revoluciones: mientras que en la primera los científicos buscan resolver los pro-

blemas asumiendo la validez de las teorías ya afirmadas, sin cuestionarlas, en las segundas hay un cambio de «paradigma», que es tanto teórico como psicológico y lingüístico. La segunda tesis es que los nuevos paradigmas son radicalmente diferentes de los anteriores, hasta el punto de que son *incommensurables* entre sí. No hay una medida común de los conceptos teóricos, y tampoco hay una medida común de los datos observacionales experimentales. Tomando la famosa imagen de Leopoldo von Ranke, todos los paradigmas serían, por lo tanto, «equidistantes de Dios».

La consecuencia de las tesis de Kuhn es que se niega toda posibilidad de una *acumulación* del progreso científico, y al mismo tiempo, de cualquier teleología. Como cada paradigma, desde el punto de vista de la *Gestalt*, define y estructura las experiencias que considera como tales, y solamente éstas, por tanto, ya no existe una idea de un «progreso hacia» («*progress towards*») un fin objetivo, ya sea lógico-epistémico –como la verdad, o la probabilidad de la verdad– o de relaciones jerárquicas entre estructuras sintácticas. Todo lo que la historia de la ciencia nos permitiría afirmar es un «progreso desde» («*progress from*») –que entonces no puede ser otra cosa sino una reconstrucción de la sucesión histórica de paradigmas.

En la tesis de Kuhn sobre la negación de toda teleología de la ciencia hay una suposición explícita de la validez del paradigma evolucionista de Darwin en la descripción de la ciencia. Así como el evolucionismo de Darwin niega cualquier idea del propósito del ser vivo, también la incommensurabilidad y los cambios paradigmáticos niegan toda idea de la dirección del progreso científico.

Determinar si las revoluciones en la ciencia han sido realmente la sucesión de paradigmas y teorías incommensurables o no, es materia de un análisis historiográfico y de un análisis lógico y epistemológico en conjunto. Personalmente, he dedicado una parte considerable de mi trabajo de investigación al estudio de la Revo-

lución de Copérnico. La tesis que me pareció que debía afirmar es que en la transición del modelo y cosmos de Ptolomeo al modelo y cosmos de Copérnico no hubo inconmensurabilidad. No la hubo en las observaciones –Copérnico construyó el *De revolutionibus orbium coelestium* casi exclusivamente sobre los datos del *Almagesto* de Ptolomeo– y no la hay en los modelos astronómicos, que *son* conmensurables en un sentido estrictamente matemático. Me pareció posible afirmar también que el paso de la teoría copernicana a la teoría ptolemaica fue el resultado de un proceso *perfectamente racional* cuando se observan tanto las *estructuras* de los modelos como su poder explicativo y predictivo. Cualquier tesis diferente deriva de confundir estos aspectos con la historia de la ciencia como un momento, aunque peculiar, de la historia general de la humanidad. Usando una diferenciación famosa, de confundir la *historia interna* de la ciencia con su *historia externa*.

Lo que es importante notar es la naturaleza contradictoria de la posición de Kuhn, cuyos paradigmas serían inconmensurables y, sin embargo, se podría decir que la ciencia ve el «progreso desde». Dada la inconmensurabilidad, no se puede afirmar ningún tipo de progreso *por definición*. Cualquier afirmación de progreso sólo podría resultar de la asunción de criterios externos, ya sean estéticos, morales, sociológicos, económicos o políticos. Pero sólo se referirían a la *historia externa* de la ciencia. Y la *historia externa* no puede decir nada sobre los contenidos objetivos de la ciencia. Tampoco hay necesidad de recurrir al moderado platonismo de Husserl o Popper para demostrar este hecho.

Las predicciones como fundamento del concepto de progreso científico

La visión de la ciencia de Kuhn y la del neopositivismo se consideran generalmente como profundamente alternativas, basándose

esta última en el doble supuesto de la primacía de una experiencia fenoménica –por un lado– y de la derivación (inductiva) de las teorías a partir de la experiencia fenoménica –por el otro. Sin embargo, ambas visiones comparten un elemento fundamental como es que la dinámica de la ciencia –la evolución de las teorías/paradigmas– está guiada por la comparación entre éstas y los últimos, y por su capacidad para *explicar* los datos observacionales y experimentales. Usando la famosa dicotomía de Hans Reichenbach, ambas se sitúan en el lado de la *confirmación* de las teorías, como radicalmente distinto del de su *descubrimiento*. Y las dos consideran simétricos los procesos y contenidos de la *explicación* y de la *predicción*.

Pero la cuestión del descubrimiento de las leyes científicas y la cuestión de las predicciones ocupan un lugar central en el problema de establecer si hay progreso científico y cuál es su naturaleza. Mientras se considere que el marco de referencia es el de las teorías *dadas* que se comparan con los resultados observacionales y experimentales *dados*, se puede elaborar –y obviamente se han elaborado– una serie de visiones convencionalistas o instrumentalistas de la ciencia. La misma visión de Kuhn se puede describir perfectamente como la afirmación de un convencionalismo/instrumentalismo que opera dentro de cada paradigma individual. Obviamente, tanto el convencionalismo como el instrumentalismo son visiones *antirealistas* de la ciencia. La ciencia no tendría ni la posibilidad ni el propósito de descubrir una *estructura ontológica* de la realidad, sino sólo de organizar sistemáticamente la evidencia disponible y aceptada.

El límite fundamental del convencionalismo y del instrumentalismo es que no logran explicar una dimensión fundamental de las teorías científicas: la capacidad de predecir tipos de fenómenos que nunca antes se habían observado. Ya hemos mencionado el caso de la curvatura de la luz debido a la gravedad. Pero hay muchos casos, y todos ellos son de absoluta importancia: desde la

predicción de las fases de Venus de la teoría de Copérnico hasta la fisión nuclear de la física atómica de los años treinta. No hay explicatum posible de este tipo de predicciones excepto la verdad de la concepción realista de la ciencia.

La física de las altas energías parece ser una confirmación perfecta de la tesis de que la ciencia progresa *hacia* (algo) y su progreso está guiado por una metodología de tipo hipotética-deductiva y no inductiva.

Permítanme recordarles dos momentos fundamentales. El primero es el descubrimiento de los bosones *gauge* de interacción nuclear débil W y Z. Su introducción forma parte de la teoría electrodébil, orientada a unificar en una sola interacción la fuerza débil y la fuerza electromagnética. La teoría electrodébil fue formulada por Glashow, Weinberg y Salam en los años sesenta, y por ello recibieron el Premio Nobel en 1979. Los bosones W y Z fueron detectados en el CERN en 1984, en el experimento dirigido por van der Meer y Rubbia. El segundo es el bosón de Higgs. Su existencia fue teorizada en 1964. Su detección tuvo lugar, con la precisión requerida, es decir, con una probabilidad de error inferior al 0,000006 por ciento, el 5 de abril de 2012, cuando el anillo del CERN alcanzó la energía de 8.000 electronvoltios.

La complejidad de la interacción entre teoría y observaciones/experimentos, por la cual la nueva evidencia entra en un proceso hermenéutico-heurístico en la formulación de nuevas teorías, no puede hacernos olvidar o incluso colocar en segundo plano el hecho de que entre las «experiencias sensatas» y las «demostraciones ciertas» de Galileo, son estas últimas las que dan dirección al progreso de la ciencia.

Esto tampoco debe ser eclipsado por el hecho de que, en la física de altas energías, se ha creado una asimetría sin precedentes entre los desarrollos teóricos y las posibilidades de verificación experimental. El enorme costo de las estructuras experimentales,

su rareza –y a menudo su singularidad, como en el caso del CERN– hacen que la creatividad de los físicos teóricos encuentre un límite en la verificación experimental que no es solamente tecnológico. De igual modo, la verificación experimental es un proceso de enorme complejidad en el que para un solo experimento se involucra a muchos investigadores (el artículo oficial del resultado del experimento, «Observation of a New Particle in the Search for the Standard Model Higgs Boson with the ATLAS Detector at the LHC», estuvo firmado por centenares de investigadores, y dedicado a la memoria de aquellos que murieron durante el tiempo del experimento). Sin duda, la *big science* muestra dinámicas internas muy diferentes a las de la ciencia del pasado. Pero no presenta necesariamente una estructura epistemológica y metodológica diferente.

*La centralidad de la idea de progreso
para la justificación de la ciencia contemporánea*

En mi exposición he intentado argumentar que la única manera de entender el progreso científico es combinar el realismo científico con una metodología hipotético-deductiva. Fuera de esta unión, se generan inevitablemente visiones convencionalistas e instrumentalistas, que no logran rendir cuenta del progreso real de la investigación científica y del logro de sus mayores resultados.

Al principio afirmé que existen razones teóricas y razones prácticas por las que el progreso científico debería considerarse una categoría fundamental de la cultura de nuestros tiempos. La razón teórica principal, como espero que haya surgido de lo que se ha ilustrado hasta ahora, es que la ciencia, especialmente en tiempos de grandes cambios, no puede prescindir de la conciencia por parte de los científicos de la dirección en la que ésta deba proceder, de los *supuestos* conceptuales que pueden constituir un factor de

desarrollo y de aquellos que, por el contrario, pueden constituir un factor de involución o de retraso del desarrollo.

Para ilustrar mejor esta tesis, permítanme usar la famosa distinción hegeliana entre progreso *ad finitum* y progreso *ad infinitum*. En Hegel, los dos términos denotaban, respectivamente, el progreso de las categorías y el progreso de la historia. Para las ciencias naturales, la distinción plantea la cuestión de si el progreso científico –suponiendo que exista y que tenga una dirección– tiene o no un límite, bien sea causado por la naturaleza o bien por el sujeto conocedor.

Uno de los filósofos más famosos del siglo XX, Karl Popper, creía que la investigación era interminable, que la ciencia no tenía límites intrínsecos y que siempre habría pasado de una revolución a otra.

La visión de uno de los grandes físicos del siglo pasado, Richard Feynman, sostenía todo lo contrario: afirmaba que tras el descubrimiento del *big bang* y la teoría de la evolución y la biología molecular se produciría una degeneración de las ideas, similar a la que experimenta un gran explorador cuando ve a los turistas invadir su territorio.

En un sentido similar, pero no igual, se ha argumentado que la revolución cuántica y la revolución relativista (y, en biología, el descubrimiento del ADN) seguirán siendo para siempre las últimas revoluciones científicas. Nuestra capacidad de comprender las leyes fundamentales de la naturaleza, y la enorme cantidad de observaciones y experimentos de control a los que las teorías científicas compartidas hoy en día han sido y son sometidas, hará que sea improbable que haya todavía momentos revolucionarios, ya sea en el sentido de Kuhn o en el sentido de Popper, en la ciencia de los años venideros. Si se quiere, es el regreso a la visión más extendida en la física de finales del siglo XIX.

Esta visión ad finitum parece ser la consecuencia inevitable de la microfísica. A lo largo de los siglos el universo había sido el labora-

torio para comprender la naturaleza de la materia. A partir de los años treinta la relación se ha invertido: los laboratorios son el modo de entender la naturaleza del universo. La búsqueda de los componentes *ultime* de la materia tiene lugar en el campo de la microfísica. Hay un significado más relevante que la mera divulgación periodística en el nombrar el bosón de Higgs como «la partícula de Dios».

Las razones teóricas se convierten en razones prácticas porque la justificación de la ciencia en la sociedad está inextricablemente ligada al hecho de que se percibe como una actividad en continuo progreso, y no como una actividad que tiene límites predefinidos e incluso identificables también por individuos que no son científicos, pero que puedan reclamar alguna autoridad política o social. La ciencia podría convertirse así en una actividad autorreferencial de la comunidad científica comprometida en lo que Kuhn llamaba la resolución de los «rompecabezas» («*puzzles*»). Es un ejemplo de importancia fundamental el éxito, realmente aterrador, que han tenido y siguen teniendo algunas visiones de la ciencia como la del «Strong Programme in sociology of science» desarrollado por David Bloor y Barry Barnes, y también la de Bruno Latour, según las cuales la ciencia está completamente separada de cualquier lógica y toda práctica de la búsqueda de una verdad objetiva, y todas las decisiones se tomarían exclusivamente sobre la base de los intereses personales de los científicos, —¡especialmente los intereses materiales!

Se puede caer en la tentación de creer que la aceptación social de la ciencia, que es la condición para que se forme un amplio consenso en las sociedades democráticas a fin de asignarle recursos sustanciales e incluso crecientes, será en todo caso la consecuencia necesaria de la percepción que la mayoría de los ciudadanos tienen, sin duda, de la utilidad del progreso tecnológico. Aunque si obviamente hay mucha verdad en esto, se trata de una solución

que no es ni general ni deseable. Podemos ver cómo muchos avances en la historia de la ciencia, como la astronomía y los de la termodinámica, no han tenido ninguna repercusión tecnológica, o la han tenido siglos o décadas después.

Buscar el consenso en materia de ciencia partiendo de los impactos tecnológicos, significa eliminar todas aquellas áreas de la investigación fundamental cuyos impactos tecnológicos no son previsibles o no lo son en un *plazo* previsible. La tendencia hacia la «finalización» de la investigación científica por parte de casi todos los gobiernos no es, por lo tanto, un fenómeno positivo, sino muy negativo para el progreso de la ciencia.

Me gustaría terminar con un ejemplo. Actualmente hay un gran interés por el *big data* y por el desarrollo de los algoritmos que permitan administrarlo. Hay un cambio considerable de recursos públicos de áreas tradicionales como la matemática pura hacia este nuevo campo de investigación, y también de la física fundamental a la *quantum computing*, que promete instrumentos de gestión de *big data* mucho más poderosos que los actuales.

El *big data* es una herramienta muy poderosa para administrar áreas de gran importancia práctica como la información, la salud, las redes de comunicación y mucho más. La investigación científica también se beneficia de ello. Y la mayor evolución se da cuando paulatinamente el *big data* se conecta con los avances de la Inteligencia Artificial.

Sin embargo, sería un error mayor adherirse a la posición de aquellos que creen que el *big data* más la Inteligencia Artificial hacen o harán inútil la actividad de *theory building*, de la invención de teorías y la construcción de modelos de teorías. Si la visión inductivista del desarrollo del conocimiento científico fuera cierta, esta posición sería justificable. Pero, precisamente, la posición inductivista es falsa: lógica, metodológicamente, históricamente falsa.

De ello se deduce que ninguna interpolación o extrapolación de datos, con cualquier método y poder de cálculo, puede dar lugar a relaciones causales distintas de las que surgen de las teorías ya conocidas. Se podrá conocer con más detalle el territorio ya explorado, pero no se conocerán nuevos territorios, lo cual por otro lado es la definición y la razón de ser de la ciencia y su progreso.

A. M. P.

