



Vivat Academia
E-ISSN: 1575-2844
vivatacademia@ccinf.ucm.es
Universidad Complutense de Madrid
España

Gutiérrez Muñoz, Julio
CIENCIA FRENTE A PSEUDOCIENCIA
Vivat Academia, núm. 90, noviembre, 2007, pp. 1-34
Universidad Complutense de Madrid
Madrid, España

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=525753070001>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

CIENCIA FRENTE A PSEUDOCIENCIA

SCIENCE VERSUS PSEUDOSCIENCE

Julio Gutiérrez Muñoz: Universidad de Alcalá de Henares. Madrid (España)
julio.gutierrez@uah.es

CURRÍCULUM VITAE

Catedrático de Física Atómica, Molecular y Nuclear de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Alcalá de Henares (Madrid). En la actualidad imparte clase de la asignatura de Física incluida en la titulación de Grado en Química de dicha Universidad. Autor de numerosos artículos científicos. Miembro fundador de GRUA (Grupo de Reflexión de la Universidad de Alcalá de Henares). Vicerrector de la Universidad de Alcalá de Henares. Director de la Revista Vivat Academia.

RESUMEN

Mientras en la Ciencia suele imperar el escepticismo, en la pseudociencia el escéptico suele ser tachado de ignorante o malvado entorpecedor de su desarrollo. La especulación forma parte tanto de la Ciencia como de la pseudociencia, la diferencia consiste en que esta última suele alimentarse de la mera especulación, sin ir más allá, es decir, sin intentar verificar experimentalmente las ideas especulativas. La especulación científica es propia de los primeros estadios del establecimiento de una teoría, cuando el científico, a la luz de los resultados experimentales, crea un modelo del comportamiento de la Naturaleza. Normalmente, la pseudociencia se practica huyendo de las pruebas y basando los éxitos, exclusivamente, en los aciertos de sus

predicciones a la luz de ciertas estadísticas, la mayoría de las veces amañadas. La Ciencia ha de ser, pues, comunicativa; sin esta característica dejaría de ser Ciencia, para transformarse en Magia. Esta comunicación, además, ha de ser asequible a todos, sin recurrir al esoterismo de los alquimistas o las sociedades secretas, de ahí la importancia de la divulgación seria.

PALABRAS CLAVE

Ciencia - Escepticismo - Pseudociencia - Especulación - Pruebas Científicas

ABSTRACT

While usually prevail in science skepticism, the skeptic in pseudoscience is often dismissed as ignorant or evil numbing in its development. Speculation is part of both science and the pseudoscience, the difference is that the latter usually feed on mere speculation, without going any further, ie without attempting to verify experimentally the speculative ideas. Scientific speculation is typical of the early stages of establishing a theory, when the scientist, in light of the experimental results, create a model of the behavior of Nature. Typically, pseudoscience practiced escaping from the trials and successes basing exclusively on the successes of their predictions in light of certain statistics, often rigged. Science must therefore be communicative without this feature would not be science, to become magic. This communication also needs to be affordable to all, without resorting to the alchemists and esoteric secret societies, hence the importance of disclosure would be.

KEY WORDS

Science - Scepticism - Pseudoscience - Speculation - Evidence

ÍNDICE

1. Introducción
2. Pseudociencia y magia en contraposición a Ciencia y búsqueda de la verdad
3. El método científico teórico y experimental
4. Ciencia y comunicación
5. Ciencia y Religión
6. Notas

TEXTO

1. Introducción

El trabajo en Ciencia requiere una serie de aptitudes y actitudes especiales no siempre presentes en los científicos profesionales. Es necesario tener gran capacidad de trabajo y sacrificio, pues los fenómenos naturales son tan absorbentes que, a veces, exigen la renuncia de muchos de los placeres proporcionados por nuestra sociedad, entre los que un buen sueldo no es el menos desdeñable. Además, el esfuerzo del científico raras veces se ve recompensado, salvo con la propia satisfacción personal de la verdad desvelada.

Evidentemente, los principios de la Ética han de prevalecer en todas las fases de la actividad científica. La honradez a toda prueba, la humildad, el gusto por la verdad, la capacidad de autocrítica, el discernimiento entre lo que se observa realmente y lo que se cree observar, el convencimiento de que nuestra mente es limitada y, por mucho que lo deseemos, cualquier conclusión sacada de la observación jamás será

una verdad absoluta, la voluntad de admitir errores, la paciencia, son algunas de las cualidades necesarias para ser un buen científico.

Sin embargo, pensar que todos los científicos cumplen con esta serie de prerequisites es tan falso como suponer que el Hombre es un ser altruista, libre de todo egoísmo o tendencia delictiva. Un científico se comportará frente a su trabajo, como lo hace en su vida ordinaria; exactamente igual que cualquier otro profesional y, dependiendo de las circunstancias, en ciertos momentos puede cambiar radicalmente de comportamiento ante la actividad científica. En el mundillo de la Ciencia están presentes la envidia, la avaricia, el robo de ideas, el acoso psicológico al compañero, etc., en el mismo porcentaje que en cualquier otro ámbito profesional. El científico es humano y como tal se comportará. Quizás en términos absolutos hay menos científicos poco honrados porque, simplemente, hay menos científicos que profesionales de cualquier otro oficio. Así, cuando científicos de la talla de Openheimer o Einstein se rasgaron las vestiduras ante el uso de la bomba atómica contra la población japonesa, no podemos pensar más que en una actitud hipócrita frente a la opinión pública. De lo contrario se les debería suponer una ingenuidad muy lejana de su capacidad intelectual. Poner en manos de políticos y militares un arma de destrucción masiva, en la idea de que no va nunca a ser usada, o lo va a ser sólo contra tropas regulares, es tan idiota como pensar que la Tierra es plana.



J. Robert Oppenheimer, "padre de la bomba atómica", fue el primer director de Laboratorio Nacional de Los Álamos, a partir de 1943.

Nueva York 22 de abril de 1904 - 18 de febrero de 1967.

En consecuencia, no debemos confundir la capacidad intelectual para hacer Ciencia con la bondad y la honradez. No obstante, debemos reconocer que la mayoría de los grandes genios de la Ciencia han tenido muy arraigados el gusto por la verdad, la capacidad de sacrificio, incluso por encima de su propia integridad física, y el sentido de la autocrítica. Ciertamente, el trabajo diario intentando descubrir los misterios de la Naturaleza ayuda a desarrollar estas cualidades. Pero hay ciertas tendencias, quizás grabadas en los genes, tras millones de años de evolución, que no están ausentes en un científico. Por tanto, idealizar el comportamiento de éste sería una forma de negar la evidencia experimental.

La propia sociedad contemporánea ha impelido a la Ciencia hacia un terreno fronterizo con el lado más oscuro de la ambición humana, muy resbaladizo, debido a su exigencia absoluta de resultados positivos a muy corto plazo. Hoy día, hasta para

obtener una remuneración medio digna por el trabajo realizado, el científico debe esforzarse por echar a un lado su paciencia y humildad e intentar sacar rápidamente resultados, aunque éstos no estén suficientemente contrastados o meditados. La carrera por publicar, sea lo que sea y valga lo que valga, ha llenado las revistas especializadas de innumerables artículos producto de las prisas, de escaso valor, salvo a los ojos de evaluadores, muchas veces incapaces de ejercitar la autocrítica, dando cabida a las presiones de grupos con clara intención de no dejar hacer a los que no forman parte de su entorno sectario. En consecuencia, la investigación básica está siendo ahogada y menospreciada. Ciertamente, hay muchas leyes y fenómenos descubiertos a largo del siglo XX que todavía no han encontrado aplicación práctica. Pero abandonar la búsqueda de nuevas leyes y fenómenos fundamentales por el desarrollo desequilibrado de nuevas tecnologías es una buena forma de arrinconar a la Ciencia en el desván de la sociedad NOTA_1.

Por supuesto, todos estos aspectos negativos, en mayor o menor grado, han estado presentes en muchas otras épocas de nuestra historia. Mas hemos de recordar que esas épocas han coincidido exactamente con los periodos más oscuros y menos productivos de la inteligencia humana. La tecnología por sí misma suele conducir al oscurantismo iniciático, privativo de unos cuantos grupos sociales con gran poder y dinero para desarrollar los descubrimientos. A este respecto, conviene denunciar lo que está ocurriendo con ciertos medicamentos que las grandes multinacionales farmacéuticas mantienen secretos o sólo al alcance de los países económicamente fuertes.



Sir Isaac Newton

Woolsthorpe, Lincolnshire (Inglaterra), 4 de enero de 1643 - Kensington, Londres, (Inglaterra) 31 de marzo de 1727.

Independientemente de lo anterior, durante milenios de historia, los genios y los anónimos trabajadores de la Ciencia han ido estableciendo una serie de pautas que, a partir de finales del siglo XVII, tras la introducción del cálculo infinitesimal, independientemente, por Newton y Leibniz, se concretó en lo que denominamos método científico.



Gottfried Wilhelm von Leibniz

Leipzig, 1 de julio de 1646 - 14 de noviembre de 1716.

A modo de paréntesis, hemos de reflexionar, además, sobre un hecho fundamental: no siempre los genios reconocidos por la Historia han sido los únicos artífices de las leyes y fenómenos que llevan su nombre. Unas veces de forma intencionada, otras casual, los grandes avances científicos se asignan a la intervención exclusiva del último eslabón de una cadena muy larga de callados trabajadores que, por lo general, nunca buscaron la gloria con su esfuerzo o les fue negada por sus propios contemporáneos. En este sentido, el propio Isaac Newton reconocía: "Si yo he llegado a ver tan lejos, es porque me encaramé a hombros de gigantes". Podríamos poner muchos ejemplos, pero serían motivo de un tratado de Historia de la Ciencia, lo que escapa de la intención de este artículo.

El lector se habrá dado ya cuenta que, cuando se explica la Historia de la Ciencia, normalmente se silencian los aspectos negativos comentados anteriormente, quizás porque lo importante es que el recién iniciado en el quehacer científico lo haga con la intención clara de ser fiel a los principios del método científico. No obstante, conviene ser modesto y encontrar la viga en nuestros propios ojos, antes de que nos acusen de ver sólo la paja en los ajenos. Es más, muchas de las acusaciones de falta de honradez, que el público en general vierte sobre los científicos, se deben, en su mayor

parte, a la habitual defensa corporativista de los fallos de nuestros colegas, posiblemente "por si acaso nos toca en carnes propias". Sólo así, siendo transparentes y denunciando actitudes poco éticas, muchos de los pseudocientíficos que pregonan "el desprecio a que se ven sometidos por la Ciencia establecida", no tendrían argumentos para sus peroratas.

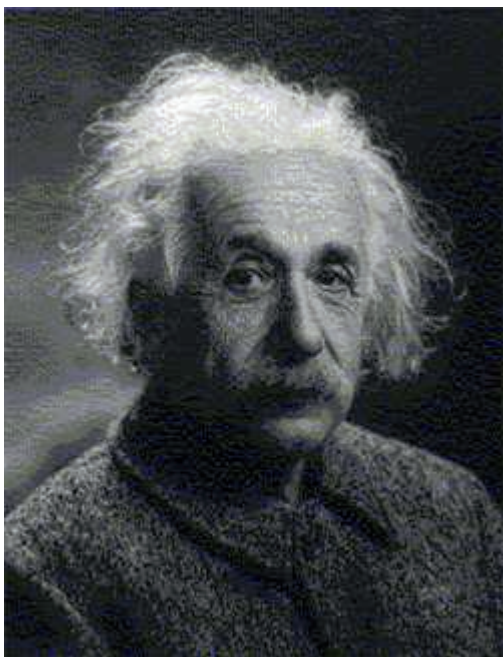
2. Pseudociencia y magia en contraposición a Ciencia y búsqueda de la verdad

Mientras en la Ciencia suele imperar el escepticismo, en la pseudociencia el escéptico suele ser tachado de ignorante o malvado entorpecedor de su desarrollo. Pero atención, no confundamos al escéptico con el empecinado en mantener teorías antiguas caídas bajo el peso de los resultados experimentales, como ha ocurrido demasiadas veces a lo largo de la historia.

La especulación forma parte tanto de la Ciencia como de la pseudociencia, la diferencia consiste en que esta última suele alimentarse de la mera especulación, sin ir más allá, es decir, sin intentar verificar experimentalmente las ideas especulativas. Consecuentemente, se suele considerar especulación pseudocientífica aquella que, por su propia naturaleza, es imposible de demostrar, sobre todo su falsedad. Así, la existencia de vida extraterrestre es una especulación pseudocientífica. Podríamos demostrar su veracidad con encontrar un único planeta donde hubiera vida, tal como la definimos los terrestres, pero no podríamos demostrar su falsedad con un único experimento, sería necesario recorrer el Universo en su totalidad, sin encontrar vida, para poder afirmar que la hipótesis es incorrecta. La Cosmología, por ejemplo, siempre ha utilizado la especulación como punto de partida de sus predicciones. Aún hoy, pese a haberse convertido en una de las ramas de la Física con más crédito o más prestigio social, sigue planteando ideas especulativas como la existencia de la materia y la energía oscuras, de las cuales podríamos demostrar su presencia en el

Universo, pero difícilmente se podría diseñar un experimento para negarlas. Por lo tanto, podemos afirmar que la Cosmología tiene mucho de especulación pseudocientífica, sin embargo, dada la morbosidad de su campo de acción, el mismo origen y destino del Cosmos, no es de extrañar su aceptación como Ciencia con todos los honores.

La especulación científica es propia de los primeros estadios del establecimiento de una teoría, cuando el científico, a la luz de los resultados experimentales, crea un modelo del comportamiento de la Naturaleza. Después, la propia teoría puede contener muchas predicciones de nuevos fenómenos, pero a éstas no se las supone especulación, no son ya hipótesis, se consideran aspectos de la teoría que deben ser explorados para confirmar su validez. Einstein, con sus experimentos mentales, es decir, experimentos simplemente imaginados, fue uno de los físicos teóricos más especulativos. Sin embargo, no todas sus especulaciones dieron lugar a teorías aceptadas, sus incursiones en el campo de la Mecánica Cuántica no tuvieron éxito alguno. NOTA_2



Albert Einstein

Ulm, Württemberg (Alemania) 14 de marzo de 1879 - Princeton, New Jersey (USA)
18 de abril de 1955.

Por consiguiente, el científico no debe rechazar las ideas especulativas por principio, eso sería negar nuestro desarrollo, pero sí debe huir de aceptarlas sin una comprobación acorde con el método científico. Pongamos un ejemplo. Como científicos estamos dispuestos, de entrada, a aceptar la idea de la existencia de fantasmas, o de todo tipo de fenómenos paranormales; es una hipótesis de partida que podría muy bien cuadrar con la idea de que nuestro mundo, de tres dimensiones espaciales, es un submundo de otro de cuatro o más dimensiones. Un fantasma podría ser la huella dejada por un ser supradimensional que ha ocupado temporalmente nuestro espacio reducido. El primer problema es que nadie ha propuesto un experimento para "cazar" fantasmas con éxito, reproducible en cualquier laboratorio, cuando se den una serie de circunstancias adecuadas. El segundo problema reside en el hecho de enfrentarnos a una especulación típicamente pseudocientífica; no hay forma de proponer un experimento para demostrar la falsedad de la hipótesis. Ahora bien, lo anterior no implica el desprecio por los que dedican su vida a demostrar la existencia de esos seres etéreos y, en consonancia, ellos no pueden pretender hacer Ciencia, si no se atienen al método aceptado universalmente como científico.

El misticismo y la superstición, en otras palabras, la creencia en lo sobrenatural, están, o deben estar, completamente ausentes de la Ciencia contemporánea. No ha sido así siempre. No olvidemos que científicos de la talla de Kepler se ganaron la vida haciendo predicciones astrológicas. El método científico ha desterrado todas aquellas teorías y modelos que no están suficientemente contrastados y comprobados. Los modelos y teorías de hoy, aunque sepamos que no se ajustan exactamente a la realidad natural, tienen sus principios enraizados en fenómenos explicables a la luz de nuestro conocimiento racional de la Naturaleza. El

racionalismo mostró a la Ciencia el camino apropiado para desentrañar los misterios del Cosmos, desde lo más macroscópico como el movimiento de las galaxias, hasta lo más microscópico como la composición interna de los íntimos constituyentes de la materia.

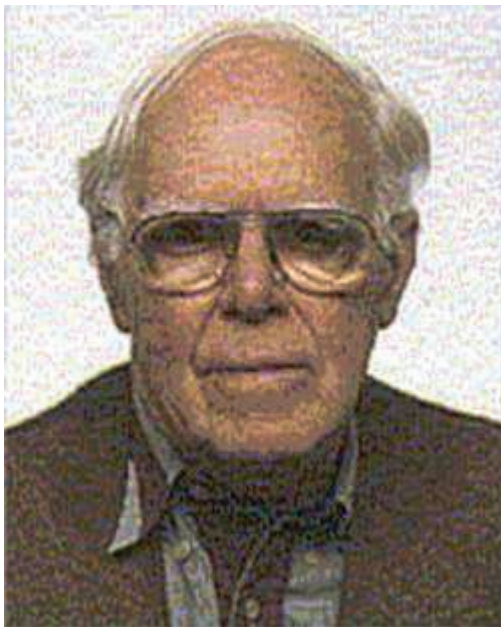


Johannes Kepler

Weil der Stadt (Alemania) 27 de diciembre de 1571 - Ratisbona (Alemania), 15 de noviembre de 1630.

Verdad es que, cuando el hombre no puede explicar ciertos fenómenos utilizando su razón, tiene tendencia a achacarlos a la intervención de seres superiores invisibles, pero presentes constantemente a nuestro lado, o a la intervención de fuerzas ocultas. Todavía existen culturas creyentes en dioses específicos para cada uno de los aspectos naturales imposibles de domeñar. El tiempo atmosférico es, aún hoy, uno de esos aspectos más difíciles de describir con nuestro conocimiento racional y persiste, en ciertas sociedades, incluso en países muy desarrollados, la presencia de rogativas y expresiones rituales, muy ancestrales, para provocar la indispensable y milagrosa lluvia. Afortunadamente, la Ciencia ha ido desbancando ese tipo de prácticas. Así, ya

no se exorcizan demonios, la esquizofrenia se trata como la enfermedad que es, aunque todavía no se haya llegado a determinar ni su origen ni su evolución. Ahora bien, ciertas actitudes negativas de los científicos, entre ellas la tendencia a ser oscuros en sus explicaciones o a despreciar al público no iniciado, han propiciado el resurgimiento de las visitas a curanderos, cazafantasmas y demás charlatanes de número creciente gracias, sobre todo, a la ayuda de los medios de comunicación. Éstos, persiguiendo la captación de audiencias numerosas, sin el más mínimo escrúpulo, prefieren presentar a chamanes, modernas brujas y visionarios como auténticos benefactores de la Humanidad, antes que programar espacios culturales dedicados a la divulgación científica. Martín Gardner, excelente divulgador de la Matemática y el método racional, afirma que el porcentaje de la población estadounidense adicta a las "ciencias ocultas" es mayor hoy que el existente en la Europa medieval.



Martin Gardner, matemático, escritor, divulgador científico y filósofo de la Ciencia.
Tulsa, Oklahoma (USA), 21 de octubre de 1914.

Normalmente, la pseudociencia se practica huyendo de las pruebas y basando los éxitos, exclusivamente, en los aciertos de sus predicciones a la luz de ciertas estadísticas, la mayoría de las veces amañadas. Un ejemplo muy significativo es el de los radiestesistas. Con una vara doblada, o cualquier otro artilugio, y con aires misteriosos, son capaces de predecir la existencia de agua en el subsuelo, casi en cualquier parte y ¡con un ciento por ciento de aciertos! Pero, que sepamos, jamás se han aventurado a hacerlo en un auténtico desierto y, seamos sensatos: casi en el ciento por ciento de los suelos no clasificados como desérticos existen corrientes de agua freática a menos de cien metros de profundidad.

Para la Ciencia, la relación causa-efecto siempre se debe a las interacciones conocidas. En caso de encontrar algún efecto imposible de explicar por causas conocidas, se buscaría una nueva fuerza en la Naturaleza capaz de dar cuenta del fenómeno; jamás achacaría el científico el fenómeno a la intervención de dioses, duendes o personajes extraterrestres. Ahora bien, hay ciertos aspectos de la Ciencia contemporánea que siguen rayando, como en el pasado, el misticismo. De esta forma se oye hablar de "variables ocultas", es decir, fenómenos aún por descubrir, en las que el propio Einstein creía como algo más racional que las hipótesis de la Mecánica Cuántica. También se utilizan dimensiones espaciales adicionales, a las que es absolutamente imposible acceder. Sin embargo, la diferencia con la pseudociencia es clara, en cualquier caso nunca serán fenómenos de origen sobrenatural.

Resumiendo, el objeto de la Ciencia, como el de toda actividad intelectual, es penetrar más allá de nuestros sentidos, de lo que nos parece inmediato, y establecer las relaciones oportunas para prever otros fenómenos, que quizás nunca se hayan producido o, incluso, es casi seguro que nunca se producirán. Es misión del científico arrancar los misterios a la Naturaleza, pero evitando, a su vez, en todo momento, dar origen oculto o esotérico a las causas íntimas de la fenomenología. Leamos las palabras de Newton al respecto, sacadas de su tratado de Óptica:

"Y los aristotélicos daban el nombre de cualidades ocultas, no para manifestar las cualidades, sino que tales cualidades solamente se suponía que se encontraban ocultas en los cuerpos y eran las causas desconocidas de los efectos que se manifestaban; tales serían las causas de la gravedad y de las atracciones magnéticas y eléctricas y de la fermentación, como si supiéramos que estas fuerzas o acciones surgen de cualidades desconocidas para nosotros, e incapaces de descubrirse y ponerse de manifiesto. Tales cualidades ocultas detienen todo avance de la Filosofía Natural, y por esto han sido abandonadas hace tiempo. Decir que todas las especies de cosas están dotadas de cualidades ocultas por las cuales actúan y producen efectos, no es decir nada. Pero derivar o deducir dos o tres principios generales a partir de los fenómenos observados y decir después cómo las propiedades y las acciones de todas las cosas corpóreas se deducen de ellos, sería dar un gran paso en Filosofía, aunque no hayan sido descubiertas las causas de aquellos principios. Por esto no dudo en proponer los principios del movimiento por ser de una extensión muy general y dejar que las causas sean descubiertas."

¿Qué podríamos añadir a lo tan bien expresado por Newton?

Tampoco debemos olvidar que, aunque se usen ciertas técnicas propias del método científico, incluso aparatos y artilugios de alta tecnología, para dar aire de Ciencia a algunas prácticas pseudocientíficas, éstas seguirán siendo producto de la charlatanería. Es común en la astrología moderna usar las predicciones astronómicas, incluso relativistas, para deslumbrar al público en su propio provecho, pero ahí termina la Ciencia de estas prácticas, en ese baño externo, como hojalata dorada y vendida al precio de oro de ley.

También son pseudociencia muchas prácticas científicas que, por supuesto, no se basan en influencias sobrenaturales o mentiras disfrazadas, pero sí en el desprecio de

principios bien establecidos y contrastados, sin que antes se haya demostrado su vulnerabilidad. Nos referimos a todo un conjunto de personajes que, en su mayoría, con escasa o nula formación científica, pretenden haber descubierto fenómenos y métodos que dan al traste con nuestra concepción cosmológica. Así, dada la angustia que provoca en la sociedad actual la escasez de recursos energéticos, son muchos los iluminados que pretender haber encontrado la forma de violar las leyes termodinámicas que impiden sacar energía de donde no existe, o transformar la energía calorífica en trabajo con un rendimiento mayor a la unidad. Es raro el año que, en los departamentos de Física de cualquier Universidad del mundo, no se presente alguno de estos individuos, con un proyecto de tal índole bajo el brazo, pretendiendo el espaldarazo de la "Ciencia establecida". Cuando se les demuestra, sin apenas esfuerzo, su equivocación, suelen montar en cólera y acusar de ignorante, cuando no de ladrón de ideas agazapado, a quien con paciencia les ha escuchado e intentado instruir.

Sin embargo, aunque en la práctica hay obligatoriedad de creer lo contrario como dogma de fe, hemos de reconocer que hay teorías y modelos físicos en la actualidad, pese al gran éxito de sus predicciones y experimentos de prueba, que están muy lejos de la racionalidad que la Ciencia parecía haber adquirido a finales del siglo XIX. No debemos, pues, aferrarnos a su validez absoluta -muchos de los físicos teóricos así lo hacen-, pues podría ocurrir que quedaran tan obsoletos en el futuro, como lo fueron los modelos astronómicos de Tolomeo ante la genialidad de Kepler y Newton. A nuestro entender, muchos aspectos controvertidos de las teorías y modelos de la Física de hoy están en una situación muy parecida a la imperante al comienzo del Renacimiento. Es más, al igual que la Inquisición anatematizaba al osado que se atreviera a ser original, en la actualidad, todo un cuerpo de "popes" de la Ciencia hace lo propio, entorpeciendo el trabajo de honrados científicos iconoclastas.

3. El método científico teórico y experimental

Se suele asignar la paternidad del método científico contemporáneo a Galileo y Francis Bacon, ya en el siglo XVI. No obstante, como hemos mencionado en el apartado anterior, el método científico cobró su verdadera dimensión con la integración de las matemáticas en el resto de ciencias y, sobre todo, en la Física, a la vez que la filosofía cartesiana, con el cultivo de la duda, arrancaba al Hombre del centro del Universo, derrumbando el concepto antropológico de la Ciencia. El racionalismo y la experimentación, como únicas fuentes de información veraz, crearon escuela y desterraron el oscurantismo y el misticismo de la práctica científica.



Galileo Galilei

Pisa (Italia), 15 de febrero de 1564 - Florencia (Italia), 8 de enero de 1642.



Francis Bacon

Londres 22 de enero de 1561 - Londres 9 de abril de 1626.

Por otra parte, hay muchos autores que enumeran un conjunto cerrado de reglas, a las que debe adaptarse el método científico para ser considerado como tal. Consideramos este proceder como contrario por sí mismo al desarrollo científico; es negar la posibilidad de encontrar nuevas ideas que ayuden al diseño de modelos y establecimiento de nuevas leyes y teorías. Si analizamos detenidamente las vicisitudes de cada una de las teorías a lo largo de la historia, muy pocas, o quizás ninguna, han seguido al pie de la letra las prescripciones del método científico.

Quizás, sería mejor dar una serie de pautas, sobre todo negativas, es decir, enumerar aquellos aspectos que no deben formar parte del método científico, como la especulación pseudocientífica comentada más arriba. La historia de todas las ciencias está repleta de ejemplos que no se atienen a las reglas mencionadas. Sin ir más lejos, el propio Einstein utilizó métodos no ortodoxos en algunas de sus investigaciones. En 1905, publicó uno de sus artículos, de esos que dieron lugar al reconocimiento de ese año como especial en el desarrollo de la Física, titulado: "Sobre un punto de vista

heurístico referente a la emisión y transformación de la luz". La heurística es una forma de obtener la solución de problemas mediante métodos no rigurosos como, por ejemplo, mediante tanteo, reglas empíricas, etc. En dicho artículo, Einstein utilizó ingeniosamente ciertas analogías entre el comportamiento de las moléculas de un gas, especulando sobre su parecido con la radiación electromagnética. Son muchos los casos en los que un descubrimiento se debe al azar o la utilización del tanteo, es decir, el método de prueba-error.

Las reglas que determinan el método científico, según se deducen de los trabajos de Galileo y Bacon, podrían resumirse en:

Reconocimiento de un problema o un fenómeno no explicado o que se puede explicar de forma diferente.

Proposición de una hipótesis y/o modelo que dé respuesta al problema planteado.

Predicción de nuevos fenómenos, como consecuencia de la posible veracidad de la hipótesis o modelo, así como de fenómenos que, en tal caso, no deben aparecer.

Propuesta y realización de experimentos, con el fin de comprobar la existencia o inexistencia de las consecuencias derivadas de la hipótesis y/o modelo.

Formulación, en un cuerpo de doctrina, de las reglas generales más sencillas posibles que organicen las hipótesis y los modelos propuestos, las predicciones y los resultados experimentales obtenidos, lo cual constituye una teoría.

Obviamente, esta serie de pasos no han de estar dados por el mismo investigador, en tal caso, pocas veces en el correr de la historia se hubieran establecido teorías. Como ya hemos indicado, el científico capaz de realizar la tarea de la quinta etapa es quien

suele alcanzar la fama y el reconocimiento histórico, pero se olvida, en la mayoría de los casos, el trabajo agotador, y muchas veces desalentador, de los que han hecho el esfuerzo en los cuatro primeros estadios del proceso.

En la Física contemporánea, más que en cualquier otra Ciencia, se suele además distinguir el trabajo teórico del experimental, como si se tratara de dos métodos científicos diferentes. Ello se ha debido, en gran medida, a la incorporación de métodos y formalismos matemáticos de gran dificultad. Sin lugar a dudas, el físico teórico es especulativo, como hemos citado anteriormente sobre ciertos trabajos de Einstein. También tiene tendencia a aceptar como dogmas de fe los productos de intrincadas demostraciones matemáticas, basadas, a veces, en la aceptación de que el Universo es mucho más complicado de lo detectado por nuestros sentidos. Sin embargo, a lo largo del siglo XX, este tipo de actuación ha tenido innumerables y resonantes éxitos, lo cual ha contribuido al reconocimiento de la Física Teórica como rama independiente. Las cinco etapas del método científico descritas más arriba se adaptan mucho mejor al trabajo del teórico que a la forma de proceder típica de un físico experimental. Incluso, en ciertas ramas de la Ciencia, como la Física de Altas Energías, el trabajo teórico ha adelantado al experimental en el orden temporal, de forma que no son los experimentos los que detectan nuevos fenómenos y/o problemas a explicar, sino, al contrario, la cuarta etapa del método científico representa el comienzo de la tarea del físico experimental, cuando el físico teórico propone los experimentos a realizar para demostrar la existencia de los entes surgidos de sus especulaciones. NOTA_3

Podemos, pues, concluir que el método científico teórico suele partir de la especulación para construir un modelo que desemboque, a su vez, en una teoría, para sustituir otra existente que presenta dificultades experimentales, o sencillamente para crear todo un nuevo cuerpo de doctrina, quizás por simple intento de alcanzar la esencia más escondida de la Naturaleza. Así, la Teoría de la

Relatividad General de Einstein no nació en respuesta a problemas de interpretación de resultados experimentales de la época. Más bien al contrario, proviene de la necesidad intelectual del autor de crear algo nuevo con belleza intrínseca. Todos los experimentos vendrían más tarde. Todavía hoy, casi un siglo después de ver la luz, se discute sobre su validez y se proponen experimentos para demostrar su veracidad o falsedad. Alguno de esos experimentos ha debido esperar a que el Hombre alcanzara el espacio para poder plantearse. Por consiguiente, es difícil que el físico teórico descubra fenómenos por casualidad. Sin embargo, el científico experimental, simplemente por haber olvidado controlar alguna de las circunstancias que rodean un experimento, puede enfrentarse con una nueva realidad en la que nadie había reparado o pensado. El ejemplo que acabamos de poner es un fiel exponente de la traslocación de las reglas del método científico. En este caso, no cabe duda que el proceso ha seguido el esquema en el orden 1-2-5-3-4.

Por otra parte, debemos a Newton las reglas fundamentales del método experimental racional:

- 1) No admitir más causas que las que son necesarias para explicar los fenómenos.
- 2) Efectos análogos deben tratar de explicarse por causas análogas.
- 3) Extender a todos los cuerpos las cualidades que pertenecen a los cuerpos sobre los que es posible experimentar.
- 4) Considerar como válida toda proposición obtenida por inducción a partir de la experiencia, en tanto que un nuevo fenómeno no la contradiga o limite su validez.

En virtud de estas reglas, en particular de la tercera, Newton formuló la ley de gravitación universal, utilizando, obviamente, las hipótesis de Johannes Kepler sobre la gravedad. La Luna sería el primer cuerpo en que pensó Newton como sometido a la gravitación de la Tierra. Al igual que sucede con Galileo, lo que Isaac Newton escribe está claro, conciso, sin excesivas minucias, sin errores, sin metafísica y sin verborrea.

Sin embargo, en los tres libros de los "Principia", Newton nos muestra también su faceta de gran teórico por su capacidad para:

- a) Organizar, deducir matemáticamente y refundir leyes y fenómenos conocidos pero, aparentemente, independientes entre sí;
- b) Crear conceptos nuevos; y
- c) Obtener predicciones numéricas detalladas y compararlas con los valores medidos.

Resumiendo, Newton es el primer científico que emplea la moderna metodología de la Física.

Pasemos ahora a analizar aquellos aspectos que deben o no deben estar presentes en la investigación científica y que, a nuestro parecer, deben constituir la esencia del método, pues todo intento de establecer un conjunto de reglas, en un rígido esquema, choca frontalmente con la propia libertad del científico, además de ser contrario a la intrínseca diversidad de caracteres y formas de trabajar. Indudablemente, dejamos fuera de esta libertad de proceder las reglas éticas y de seguridad, tanto personal como del entorno, y que deben estar siempre presentes en cualquier actividad profesional.

Ya hemos comentado suficientemente la utilización de la especulación en el trabajo científico. Se debe usar con moderación y sin que constituya el final del proceso de elaboración de cualquier teoría. Una buena teoría debe contener en sí misma las

posibles pruebas para refutar su validez. En este sentido Einstein afirmó: "Por muchos experimentos que haga nunca podré demostrar que estoy en lo cierto. Basta un solo experimento para demostrar que estoy equivocado".

Quizás, el aspecto más fundamental del método reside en la actitud del científico. Así, debe armarse de paciencia, evitando la tentación de quemar etapas en aras del reconocimiento de la paternidad de un descubrimiento, y, haciendo alarde de una honradez a toda prueba, de humildad, del gusto por la verdad y de la capacidad de autocrítica, se esforzará por discernir entre lo que observa realmente y lo que cree observar, por interrogarse sobre lo que la Naturaleza le muestra, por experimentar hasta la saciedad antes de sacar conclusiones precipitadas y, sobre todo, por convencerse de que sus contribuciones no representan la verdad absoluta. En este mismo orden de ideas, así como el científico debe estar abierto a la crítica externa y al diálogo y dispuesto a la rectificación, tampoco aceptará sin más los resultados e ideas de sus colegas, por mucha reputación que tengan. De hecho, en la actividad científica, sobre todo en el ámbito de la Física, son escasas las argumentaciones basadas en lo afirmado por una autoridad en la materia. Las citas de los trabajos de otros se hacen en función de la validez de su trabajo, suficientemente contrastado experimentalmente. Como dice el biólogo molecular John S. Mattick: "las ideas aceptadas sin crítica entrañan cierto peligro, sobre todo en Ciencia. Empiezan siendo la interpretación más plausible y cómoda de los hechos, pero pueden llegar a convertirse en artículos de fe con los que las nuevas observaciones deben encajar; así ocurre cuando la veracidad no puede comprobarse de forma inmediata y sus deficiencias no resultan obvias". Por esta misma razón, una idea o experimento que refute un modelo o teoría universalmente aceptados, no debe ser rechazado por principio, por el contrario, se debe analizar concienzudamente. Recordemos que nuestra mente y percepción de la realidad son deficientes, por lo que no es rara la equivocación. Pensemos en la gran cantidad de teorías sustituidas a lo largo de la historia por otras nuevas, a veces diametralmente opuestas, más perfectas a la luz de

nuevos datos o ejercicios más correctos de la razón. Lo contrario es propio de las religiones, las cuales fundamentan su conocimiento en la verdad revelada y no en la experimentación racional. Todo descubrimiento científico es necesariamente incompleto e inexacto, pues es producto del estado general del conocimiento en el momento en que se produce.



John S. Mattick, Profesor en el Institute for Molecular Bioscience. Universidad de Queensland, Brisbane (Australia).

En contraste con los motivos personales y creencias metafísicas "implícitas" del científico, de las que no tiene que convencer a nadie, quizás la faceta más sobresaliente, que no debe estar ausente, ni en su trabajo, ni cuando transmite su conocimiento o sus descubrimientos, sea la moderación. Es innegable que el entusiasmo debe presidir toda la vida de un creador; si no está entusiasmado con su trabajo, mal podrá aportar algo útil, por insignificante que sea. Sin embargo, entusiasmo no quiere decir desmedida. Cuando se obra bajo el impulso del entusiasmo explosivo, las probabilidades de error son grandes. Por ello, el investigador debe esforzarse en un severo examen recursivo de sus trabajos antes de publicarlos, exponiéndolos, por ejemplo, al juicio imparcial de sus colegas. En este sentido, Pasteur escribía: "Si crees haber hecho algún descubrimiento científico importante y estás febrilmente ansioso por publicarlo, deja pasar unos días, semanas, o aun años, intenta derribar tus propios argumentos y experiencias y expón tus

descubrimientos sólo después de haber agotado todas las hipótesis en su contra. Si después de tales esfuerzos llegas a la certidumbre, tu alegría será una de las mayores que puede sentir el alma humana".



Louis Pasteur

Dôle, Región de Jura (Francia), 27 de diciembre de 1822 – Paris, 28 de septiembre de 1895.

Una buena teoría, bien adaptada a la Naturaleza, suele ser simple y bella en sí misma y es mejor aceptada por la razón. Un buen experimento, que permite sacar conclusiones con el menor número de dudas posible, debe ser fácilmente repetible y exento de circunstancias especiales u oscurantistas que le hagan singularmente propio de un experimentador o grupo científico. Una de las misiones del método científico consiste en simplificar las hipótesis y los modelos para hacerlos lo más sencillos posible, minimizando el número de leyes imprescindibles, así como mejorar la calidad y precisión de los experimentos, para hacerlos más asequibles y fiables . Recordemos que, en el proceso de elaborar una teoría, las leyes más simples, de las que pueden deducirse las demás, son las que convertimos en principios

fundamentales. Estas leyes primeras, generadoras del cuerpo de la teoría, han de ser necesarias y suficientes, en el mismo sentido que los matemáticos dan a estos términos. Suficientes porque, si se cumplen, toda conclusión es cierta y necesarias porque, si no se cumplen, toda conclusión es falsa. En el proceso de diseñar, programar y realizar un experimento debe primar, sobre todo, la necesidad de obtener resultados reales y no resultados acordes con nuestro deseo, por mucho que unos y otros sean lejanos y contradictorios.

Consecuentemente, el método científico no consiste sólo en encontrar nuevas leyes o teorías o diseñar nuevos y revolucionarios experimentos. Tan importante como lo anterior, es la mejora y simplificación de lo existente. Muchas veces, la genialidad de un científico radica en su capacidad de síntesis y simplificación de las ideas y modelos que navegan en el campo de su actividad, así como en la introducción de nuevas restricciones o métodos experimentales. La genialidad de la Relatividad Especial de Einstein consistió en enunciar un único principio, el de invariancia de la velocidad de la luz para cualquier observador, lo cual llevó a zanjar, rápida y definitivamente, las discusiones y dudas de decenas de años de experimentos y modelizaciones.

El método científico experimental tiene, además, algunas otras características que merece la pena comentar.

El sistema que constituye la esencia del experimento ha de estar suficientemente aislado de influencias externas incontrolables, en la medida de nuestro conocimiento sobre los fenómenos naturales investigados. Por otra parte, el experimentador debe esforzarse por evitar la introducción de interferencias con sus aparatos de medida, salvo las estrictamente imposibles de eludir. Si ello no es posible, el experimentador debe ser capaz de determinar los márgenes de la incertidumbre introducida por este tipo de interferencias, independientemente de la incertidumbre inherente a la propia

medida o a la precisión de los aparatos utilizados. Este tipo de evaluaciones se conocen, respectivamente, como determinación de las incertidumbres estadísticas y sistemáticas.

Los experimentos deben ser fácilmente repetibles y nunca pueden depender de circunstancias que sólo se pueden dar en un lugar del espacio o un momento temporal determinados. Desgraciadamente, hoy día hay diseños experimentales, por su complicidad y coste económico, como los propios de la Física de Altas Energías, sólo al alcance de consorcios internacionales entre países muy desarrollados. Pero aun en estos casos, nunca existe un único laboratorio dedicado a la investigación de los fenómenos correspondientes, precisamente para evitar la singularidad de los resultados. NOTA_4

4. Ciencia y comunicación

Podría argumentarse que la Ciencia tiene un objetivo mucho más claro y fácil de conseguir que la Filosofía y el Arte contemporáneos, por ejemplo, y de ahí su gran explosión en los dos últimos siglos. Empero, al igual que el arte o la Filosofía, la Ciencia carecería de sentido si no se participaran las ideas. Es más, la cantidad de conocimientos que una persona puede reunir a lo largo de su vida serían inútiles y morirían con ella si no se comunicaran; si no existiese, además, un cierto grado de crecimiento selectivo, es decir, una discriminación de lo válido frente a lo incierto por medio de la discusión, no existiría avance alguno. Podemos decir, junto con Holton y Roller NOTA_5, que la continuidad o comunicabilidad, la variedad individual, la multiplicidad de esfuerzos libres y el crecimiento selectivo son los cuatro pilares en que se fundamenta el desarrollo científico provechoso.

La Ciencia ha de ser, pues, comunicativa; sin esta característica dejaría de ser Ciencia, para transformarse en Magia. Esta comunicación, además, ha de ser asequible a

todos, sin recurrir al esoterismo de los alquimistas o las sociedades secretas, de ahí la importancia de la divulgación seria. La conveniencia y la libertad para comunicarse son vitales para la misma existencia de la Ciencia y más aún de una ciencia experimental como la Física.

El celoso secreto con que los alquimistas ocultaban sus descubrimientos y resultados retrasó el nacimiento de la Química. Como en la vida diaria, la verdad sólo puede hallarse en el mercado libre de las ideas. Únicamente el filtro de los años, y no la regulación por intervención humana directa, puede decidir el valor de las diferentes contribuciones científicas.

En este sentido, el papel protagonista lo desempeña la enseñanza. Ella faculta a las nuevas generaciones para tomar un tren en marcha que se mueve a velocidades cada vez mayores. La labor docente es, por tanto, delicada; se debe saber escoger aquello que facilita el aprendizaje. Tampoco se puede tomar la vía histórica para enseñar ciencia pues, posiblemente, nos llevaría siglos -los mismos que ha tardado la humanidad entera- poder presentar las materias que componen la Física, por ejemplo, aunque a veces sea conveniente hacer pequeños recorridos por esa vía, a fin de facilitar la comprensión de conceptos poco asequibles a la mente humana.

5. Ciencia y Religión

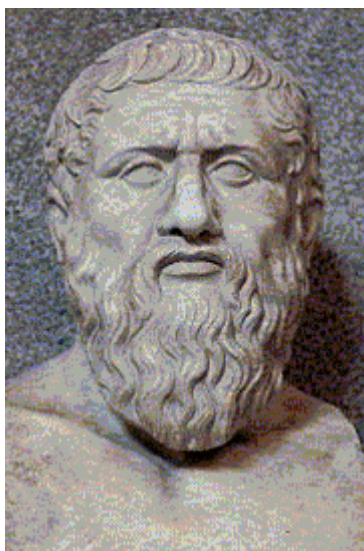
Hay un aspecto de la actividad científica, en relación íntima con la propia naturaleza humana, que no debemos obviar, por una simple razón fundamental: la necesidad intelectual de conocer su origen y su destino, así como los del mundo que le rodea. No obstante, el Hombre encuentra insuficiente la información proporcionada por la Ciencia. Necesita de la Filosofía para escarbar en las raíces metafísicas del árbol de la Ciencia y/o de la Religión para liberarse de las dudas inherentes a la aceptación de

los principios reguladores de la Naturaleza. Bien es verdad que, en cierto sentido, esta necesidad le lleva, de nuevo, a aceptar ciertos dogmas, esta vez con fe ciega.

Es propio de la Ciencia acatar que, a la luz de nuestro conocimiento, hay preguntas sin respuesta y, si aceptamos las ideas de la Física Cuántica, incluso debemos aceptar como inevitable la incertidumbre del conocimiento. De alguna manera la Ciencia describe el cómo se comporta la Naturaleza, mientras que la Religión significa el porqué. La Física acepta, sin más, las leyes de conservación de ciertas magnitudes como la energía, así como la Biología acepta las leyes de la evolución, sin preguntarse el porqué, aunque los correspondientes científicos se esfuercen por ahondar cada vez más en el conocimiento y origen de esos principios. Einstein se preguntaba si las características fundamentales del Universo están elegidas por Dios arbitrariamente o si, por el contrario, las leyes que nos gobiernan vienen fijadas por algún principio fundamental, aún por descubrir. Los físicos creen en la segunda posibilidad, mientras los religiosos optan por la primera hipótesis. Fíjese el lector que, en cualquier caso, ambas concepciones son equivalentes en la práctica. Tanto da una hipótesis u otra pues, probablemente, ninguna de ellas podrá ser verificada. Por tanto, mientras los físicos no seamos capaces de descubrir ese principio de principios, debemos aceptar la existencia de un conjunto de leyes fundamentales y trabajar por simplificar y minimizar su número.

La actividad científica ha de estar libre de todo impedimento que le sea ajeno. De todos es conocida la tragedia de Galileo como para repetir la historia. La lucha por esta libertad es preciso mantenerla, no sólo porque, a la larga, la misma Ciencia peligra al perderla, sino también porque amenaza toda libertad intelectual. Platón, conociendo que su proyecto de estado totalitario peligraría por los inconformistas librepensadores, recomendaba para ellos el "tratamiento de reeducación" llamado prisión o muerte. Sin embargo, el que las ideas del científico no deban interferir en sus teorías no quiere decir que deba privarse de tenerlas. El físico Arthur Eddington

NOTA_6 tenía unas convicciones tan firmes sobre el particular, que llegó a escribir una "Defensa del misticismo". Si sus ideas tenían o no significado desde el punto de vista científico, no podemos afirmarlo, pero, probablemente, fueron la causa íntima de su consagración a la búsqueda de la Verdad. Lo interesante es que, en ninguno de sus artículos sobre física, se atisba una manifestación explícita de su misticismo personal, nada que no pudiera ser igualmente dicho por un científico de orientación metafísica totalmente opuesta a la suya o por un miembro de la escuela "dura", la cual no se interesa por tales cuestiones.



Platón, filósofo griego, alumno de Sócrates, fundador de la Academia de Atenas, en la que estudió Aristóteles.

Circa, 427 adC/428 adC – 347 adC.

Así pues, no hay contradicción entre la Religión y la Ciencia, siempre que una y otra se mantengan en sus medios naturales de actuación que, si bien son fronterizos, no son, ni siquiera en parte, coincidentes. Como dice Brian Pippard: "el verdadero creyente no debe tener miedo: su ciudadela es inexpugnable al asalto científico porque ocupa un territorio vetado a la Ciencia". Los conflictos que en el pasado han salpicado, y todavía hoy salpican, las relaciones entre científicos y teólogos se deben,

por una parte, a la ingerencia de los unos en los terrenos de los otros y, por otra, al fundamentalismo tanto religioso como científico. Los fundamentalismos y radicalismos son la parte más negativa de la actividad intelectual humana. Cuando los teólogos niegan la evidencia experimental o cuando los científicos niegan la existencia de seres superiores, sin poder, en forma alguna, diseñar un experimento para demostrar la falsedad de esa especulación religiosa, la guerra está servida. El científico puede ser perfectamente un creyente religioso; son muchos los ejemplos históricos a este respecto y Newton fue uno de los más destacados. Sin embargo, el científico debe trabajar como tal completamente al margen de sus ideas religiosas, lo que no impide la restricción de su actividad por aplicación de las reglas éticas propias de su creencia, siempre y cuando éstas respeten absolutamente la libertad de sus colegas y a él no le confinen en el terreno de los fundamentalismos intransigentes.



Sir Alfred Brian Pippard es un famoso físico británico, profesor de Física en Cavendish desde 1971 hasta 1984. En la actualidad es Honorary Fellow of Clare Hall, en la Universidad de Cambridge. Nacido en 1920.

6. Notas

NOTA 1: Se ha escrito mucho sobre el oscurantismo científico de la Edad Media, producto innegable del ahogo de la ciencia básica y la filosofía durante el Imperio Romano. En este periodo de militarismo exacerbado, lo importante era el desarrollo de nuevas técnicas (el I+D de la época), frente al gran desarrollo intelectual de la Grecia clásica, más preocupada por las bases del conocimiento. Afortunadamente, gracias a las influencias de científicos árabes y judíos, que rescataron, en épocas de

esplendor cultural de los Califatos, las formas de hacer y pensar griegas, se hizo posible el Renacimiento, dando paso a figuras de la talla de Copérnico, Galileo; etc y ello pese a las trabas feroces impuestas por el integrismo religioso de la Iglesia Católica.

NOTA 2: No tuvieron éxito en su época pero, ahora, están siendo desempolvadas y constituyen de nuevo hipótesis plausibles.

NOTA 3: Hemos de comentar, además, que no siempre los físicos teóricos y experimentales trabajan juntos, ni se respetan en la forma debida. Existen demasiados casos en que los teóricos tienen tendencia a sobrevalorar sus contribuciones frente al duro, lento y desalentador proceso de la pura labor experimental, en muchos casos, haciendo alarde de las dificultades inherentes a los métodos matemáticos utilizados.

NOTA 4: Como colofón a la exposición del método científico, conviene leer las palabras con que Newton terminaba su tratado de Óptica. Evidentemente, el pensamiento científico ha evolucionado lo suficiente como para que algunos de los términos de Newton sean hoy rechazables, pero otros tienen tanta vigencia en nuestros días, como la tuvieron a comienzos del siglo XVIII, si bien le valieron al maestro duras críticas.

"... en la Filosofía Natural la investigación de las cosas difíciles por el método de análisis ha de preceder siempre al método de composición. Este análisis consiste en realizar experimentos y observaciones, en sacar de ellos conclusiones generales por inducción y en no admitir otras objeciones en contra de esas conclusiones que aquellas salidas de los experimentos u otras verdades ciertas, pues las hipótesis no han de ser tenidas en cuenta en la Filosofía experimental. Y, aunque los argumentos, a partir de observaciones y experimentos por inducción, no constituyan una

demostración de las conclusiones generales, con todo, es el mejor modo de argumentar que admite la naturaleza de las cosas y ha de considerarse tanto más fuerte cuanto más general sea por inducción. Si de los fenómenos no surge ninguna excepción, las conclusiones pueden proclamarse en general. Pero, si algún tiempo después, surgiese alguna excepción de los experimentos, habrán de comenzar a proclamarse con las excepciones pertinentes. Con este método de análisis podemos pasar de los compuestos a sus ingredientes y de los movimientos a las fuerzas que los producen; en general de los efectos a las causas, de estas causas particulares a las más generales, hasta que el argumento termine en la más general. Éste es el método de análisis. El de la síntesis, por su parte, consiste en suponer las causas descubiertas y establecidas como principios y en explicar con ellos los fenómenos, procediendo a partir de ellas y demostrando las explicaciones".

"... No sólo la Filosofía Natural se perfeccionará en todas sus partes siguiendo este método, sino que también la Filosofía Moral ensanchará sus fronteras".

NOTA 5: Gerald Holton (Profesor de Física en la Universidad de Harvard) y Duane H.D. Roller (Profesor asociado de Historia de la Ciencia en la Universidad de Oklahoma) son los autores de un magnífico libro, "Fundamentos de la Física Moderna", que supone una clara y rigurosa presentación de los conceptos y teorías clave de la Física. (Ed. Reverté, 1974). Este texto es la traducción al castellano de "Foundations of Modern Physical Science" (Reading, Mass., Addison-Wesley Pub. Co. [1958]).

NOTA 6: Albert Einstein predijo que la gravedad del Sol curvaría la luz de las estrellas lejanas, al pasar por sus cercanías. Esta desviación de la trayectoria rectilínea fue medida por primera vez por el famoso astrónomo británico Sir Arthur Eddington in 1919.



Sir Arthur Eddington