

ROGER BACON Y LA CIENCIA EXPERIMENTAL

FRANCISCO BONNÍN AGUILÓ
Universidad de Alcalá

1. INTRODUCCIÓN

1. APROXIMACIÓN A ROGER BACON

Roger Bacon (1210/14-1292), conocido como *Doctor Mirabilis*, es una de las figuras más originales de la Historia de la Filosofía y de la Ciencia. En sus obras, especialmente en el *Opus majus*, nos da una amplia y documentada visión del saber de su tiempo, recogiendo el material de los grandes pensadores del pasado, pero aportando a su vez nuevos conocimientos en distintos campos del saber.

Es muy amplio el abanico de temas de que trata Bacon en las siete partes de su *Opus majus*, como puede verse a continuación:

- 1) De las cuatro causas de la ignorancia y del fracaso en la investigación de la verdad;
- 2) De la Teología como ciencia perfecta y que domina y se sirve de las demás ciencias, especialmente de la Filosofía y del Derecho;
- 3) De las lenguas y de la importancia de su conocimiento para poder leer los textos originales e interpretarlos adecuadamente;
- 4) De las Matemáticas y de su capital importancia. Sin ellas nada se puede conocer del mundo terrestre ni del celeste, ya que todos los actos naturales se propagan según las propiedades matemáticas de las líneas y de los ángulos;
- 5) De la Óptica, tratando de la visión, de la reflexión y de la refracción con sus aplicaciones prácticas;
- 6) De la Ciencia experimental, que Bacon considera todavía más necesaria porque la evidencia de la experiencia es mucho mayor que la de las Matemáticas;
- 7) De la Filosofía Moral, que ocupa un nivel todavía más alto que las lenguas, las Matemáticas y que la misma Ciencia experimental, porque mientras las ciencias se ocupan de acciones de diverso tipo, los actos que estudia la Moral son los que hacen al hombre bueno o malo.

El estudio de una temática tan amplia, tenía un motivo: Bacon pretendía que se acometiera una profunda reforma de los estudios en las Universidades de todo el mundo cristiano con la ayuda del Papa (para el que escribió el *Opus majus*, el *Opus minus*, y el *Opus tertium*).

Según Roger Bacon, hay tres fuentes de conocimiento: la autoridad, la razón y la experiencia. La autoridad humana no es suficiente sin la razón. La razón no nos lleva a una certeza completa a no ser que use el camino de la experiencia. La experiencia, a su vez, puede ser externa, (que proviene de los sentidos), o interna (que deriva de la iluminación divina y puede llegar hasta el éxtasis místico).

La ciencia experimental sobrepasa a los demás tipos de conocimiento por tres razones: 1) Porque consigue una certeza completa para las demás ciencias; 2) Porque consigue resultados que las otras ciencias no pueden alcanzar; y 3) Porque puede descubrir los secretos de la Naturaleza, produciendo efectos y máquinas maravillosas que mejorarán la vida humana, como lámparas perpetuas, explosivos, naves sin remos ni velas, coches que se desplacen por sí solos, aparatos voladores, aparatos elevadores, máquinas sumergibles, puentes sin pilares, etc.. Así, dice Bacon sobre la certeza que da el experimento, uno queda completamente convencido de que el fuego quema y destruye cuando ha aproximado su mano al fuego o ha echado en él un objeto que se ha convertido en cenizas.

Aunque algunos de los efectos maravillosos de la Ciencia experimental ya han sido conseguidos o él podría realizarlos, sin embargo, en su mayor parte, la ciencia experimental no ha sido lograda todavía. Por esto Bacon invita a la práctica de experimentos.

Desde la perspectiva de la Ciencia experimental, podría decirse que Roger Bacon es un heraldo o pregonero de la ciencia moderna, como lo será Francis Bacon. Se anticipa a Comte en la búsqueda de una síntesis total del saber teológico, filosófico y científico sobre la base del saber positivo de la experiencia, y todo ello enfocado al progreso y bienestar de la sociedad humana universal¹.

2. PARADIGMAS INTERPRETATIVOS SOBRE ROGER BACON

Un perfil interpretativo de Roger Bacon que ha perdurado mucho tiempo es la imagen de un Roger Bacon héroe de la ciencia, en el período oscuro de la Edad Media, que se supo anticipar nada menos que seis siglos a la moderna revolución científica. Este perfil estuvo vigente con carácter predominante, desde el siglo XVII hasta principios del siglo XX².

Pero el legado de Roger Bacon no siempre se ha presentado así. Se pueden distinguir varios perfiles según los cuales se ha interpretado la obra de Bacon desde el siglo XIII hasta hoy. Podríamos distinguir hasta cuatro perfiles interpretativos:

- 1) El perfil *mágico*, según el cual Bacon, sólo conocido parcialmente, es asociado a la magia, a los misterios pitagóricos y platónicos, como hizo expresamente Pico della Mirandola³. Según esta interpretación, Bacon se habría dedicado a las ciencias

1. Véase F. BONNIN, *Historia del pensamiento anglosajón. Edad Media*, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, 1996, pp. 66-70.

2. J. HACKETT, *Roger Bacon and the Sciences: Introduction*, en J. HACKETT (Ed.), *Roger Bacon and the Sciences. Commemorative Essays*, Studien und Texte zur Geistesgeschichte des Mittelalters, Band LVII, Brill, Leiden, New York, Köln, 1997, p. 3.

3. G. PICO DELLA MIRANDOLA, *De hominis dignitate*, editado por E. GARIN, Vallecchi, Florencia, p. 152.

- ocultas, a la astrología y a la alquimia. Este paradigma dominó desde después de la muerte de Bacon hasta finales del siglo XVI y principios del XVII.
- 2) El perfil *científico*, según el cual Bacon se convierte en el *héroe de la Ciencia experimental*, en el gran matemático, químico y astrónomo de su tiempo. Este paradigma científico aumentó su influencia con la publicación del *Opus majus*, en 1733, por Samuel Jebb y con la publicación de la misma obra, en 1750, por los franciscanos de Venecia. Con esta interpretación, Bacon va saliendo de cierta oscuridad (en que había estado envuelto durante unos tres siglos), y su legado va siendo cada vez más conocido y más ensalzado. Este tipo de interpretación domina desde finales del siglo XVI hasta finales del siglo XIX.
 - 3) El perfil *hagiográfico*, según el cual se presenta a Bacon, desde el Positivismo francés y desde el Romanticismo alemán, como un héroe y un ídolo genial, y como un pensador avanzado con respecto a su tiempo, que no fue valorado ni comprendido durante mucho tiempo. Se pone el acento en las novedades aportadas por Bacon, tales como la del movimiento de la tierra y de su redondez, que influyó en los viajes de Cristóbal Colón a través de Pedro d'Ailly y de Aeneas Silvo, así como por unos pergaminos mandados a Clemente IV que contenían un mapamundi y quizá la manera de llegar a Extremo Oriente por Poniente⁴. Este paradigma abarca desde la segunda mitad del siglo XIX hasta la segunda década del siglo XX.
 - 4) El perfil *erudito-crítico*, que arranca con la publicación de los ensayos que se publicaron como volumen memorial de la celebración del séptimo centenario (1914) del nacimiento de Bacon, celebración que tuvo que posponerse a causa de la I guerra mundial. Según este paradigma, la figura y la obra de Bacon es presentada críticamente, con sus luces y sombras, (con interpretaciones con frecuencia divergentes), pero con un conocimiento mayor de Roger Bacon cuyas obras completas se iban publicando en los últimos siglos⁵.

3. ESTRUCTURA DEL PRESENTE ESTUDIO

En este estudio veremos primero cuál es el pensamiento original de Roger Bacon sobre la Ciencia experimental atendiendo a lo que él mismo escribió en sus obras, preferentemente en el *Opus Majus*.

4. HEER, *El mundo medieval. Europa 1100-1350*, Madrid, Guadarrama, 1963, p. 325-326, en A. BOADAS I LLAVAT, *Subjectivitat i filosofia moral en Roger Bacon*, Publicacions Microforma, Barcelona, 1992, p. 284, y nota 595. Hoy está completamente demostrado y hay un consenso de los eruditos de que Cristóbal Colón conocía las descripciones de Geografía de Roger Bacon en su parte cuarta del *Opus Majus*. Lo demuestra el reciente estudio de D. WOODWARD y HOWE. *Roger Bacon on Geography and Cartography*, en HACKETT, (Ed.), *o. c.*, pp. 199-222.

5. Sobre estos cuatro paradigmas interpretativos véase el artículo bien documentado de A. BOADAS I LLAVAT, *Roger Bacon (1292-1992): Història de la crítica*, en *Actes del Simposi Internacional de Filosofia de l'edat mitjana. El pensament antropològic medieval en els àmbits islàmic, hebreu i cristià*, Patronat d'Estudis Osonencs, Vic, 1996, pp. 209-222.

Después de la exposición del pensamiento de Bacon, veremos las interpretaciones más importantes que se han dado a los conceptos claves de su pensamiento sobre la Ciencia experimental.

II. LA CIENCIA EXPERIMENTAL SEGÚN BACON

1. LA DEDICACIÓN DE ROGER BACON A LA CIENCIA EXPERIMENTAL

Roger Bacon procedía de una familia aristocrática muy acomodada, por lo que, según él mismo declara en una carta escrita al Papa Clemente IV, pudo gastar mucho dinero en la investigación experimental, hasta que su familia fue condenada al exilio quedándose en la miseria y desconectada de Roger Bacon. La caída en desgracia de su familia había ocurrido por mantenerse leal al rey Enrique en las disputas entre el rey y sus barones⁶.

De los cuarenta años dedicados al estudio, Bacon dedicó más de veinte al estudio e investigación sobre la ciencia y al estudio de lenguas. Buscó la amistad de todos los sabios científicos de su tiempo. En ello y en la adquisición de libros e instrumentos, según confiesa en su *Opus Tertium*, gastó más de mil libras (*O. T.*, c. 17).

Entre los muchos sabios con los que se codeó, cabe citar especialmente a Robert Grosseteste, después Obispo de Lincoln, y a Pedro de Maricourt, también conocido como *Petrus Peregrinus*. Estos dos autores, tan admirados por Bacon, ejercieron una influencia decisiva en la trayectoria investigadora de éste último en la Ciencia experimental (*O. T.*, c. 13).

A principios del siglo XIII hubo en Oxford una tendencia al estudio científico, mientras que en París esta tendencia era mucho menor. Así, con respecto a la Óptica, Bacon manifiesta que en París no se daban lecciones sobre esta ciencia ni en cualquier otra parte entre los latinos, a no ser dos veces en Oxford (*O. T.*, c. 11). Parece ser que Bacon alude aquí a Grosseteste. En Oxford ya se conocían las obras de Euclides, que habían sido traducidas del árabe por Adelardo de Bath, en el siglo XII.

Este ambiente a favor de la ciencia que se daba en Oxford y las enseñanzas recibidas de su maestro Grosseteste predispusieron la dirección de Bacon por el camino de la ciencia experimental. No es de extrañar que, al llegar Bacon a París, chocara con una Universidad sumergida en controversias dialécticas, sostenidas por maestros poco preparados en la labor científica e incapaces de distinguir la verdad del error tratando de resolver los problemas sirviéndose de sutilezas verbales. Bacon vio que la Filosofía sin la ciencia puede degenerar en una pedantería académica. Por esto Bacon quiso emprender la reforma de los estudios universitarios.

2. LA CONCEPCIÓN METAFÍSICA DE LA MATERIA Y DEL SINGULAR Y LA CIENCIA EXPERIMENTAL

Roger Bacon conocía profundamente la Escolástica y sus métodos y estaba bien entrenado para tomar parte en las discusiones metafísicas de su tiempo, aunque concedía la su-

6. *Opus Tertium*, c. 3. En adelante se citará como *O. T.*

premacía a la ciencia positiva. Algunas concepciones metafísicas de Bacon le servían como punto de partida y como invitación para su dedicación a la Ciencia experimental. Esto ocurre con la concepción de la *materia* y, sobre todo, con la concepción del *singular* en la controversia de los *universales*.

Con respecto a la concepción de la *materia*, Bacon tiene una opinión peculiar sobre esta cuestión que él considera muy importante. Para él, la *materia*, junto con la *forma*, es un elemento de la sustancia, como afirmaban los aristotélicos.

Pero para Roger Bacon la *materia* no es una simple *potencia* universal que en su *potencialidad* universal puede recibir cualquier *forma*, como decían Aristóteles y sus seguidores, sino que, en la escala que va de lo más general a lo más especial hasta llegar al *individuo*, hay distintos grados de *materia*, como hay distintos grados de *sustancia*. Así por ejemplo partiendo de lo más universal se pueden distinguir las sustancias siguientes: Sustancia compuesta universal, sustancia espiritual, sustancia corporal, sustancia corporal celeste, sustancia corporal terrestre, sustancia terrestre mixta de varios elementos o de un solo elemento, sustancia mixta inanimada, sustancia mixta animada, sustancia animada vegetal, sustancia animada animal, sustancia animada racional.

Pues bien, lo mismo que todos estos grados de sustancia tienen distinta *forma*, igualmente poseen una *materia* distinta. Y un tipo de materia se distingue de otra materia mediante diferencias específicas. Así un asno se diferencia de un caballo no solamente por la *forma* sino también por la *materia*. Si se sostiene que la *materia* es común y universal, es imposible comprender bien el origen de cada cosa y el curso de toda la naturaleza y además puede uno caer fácilmente en el Panteísmo. Por esto le parece imposible a Bacon que Aristóteles pudiera admitir una *materia* universal y atribuye esta opinión a errores de los traductores.

Bacon termina diciendo que hay tantos grados de *materia* como de cosas. De ello saca una conclusión que a la vez es un consejo para sus seguidores para que se dediquen a la Ciencia experimental: Mira las cosas mismas, experimentálas, mira cómo las cosas actúan sobre ti, y cómo tu puedes actuar sobre ellas...⁷

En cuanto a la gran controversia medieval sobre los *universales*, Bacon sacará una conclusión análoga que incita a la dedicación a la ciencia experimental. Con su forma de entender los universales y el estímulo hacia la ciencia experimental que supone su concepción, Roger Bacon se anticipa a la concepción de los universales de Guillermo de Ockham⁸.

También la opinión de Bacon sobre los *universales* es peculiar y distinta de la de sus contemporáneos. Es un ejemplo de su rechazo de las entidades abstractas, de la palabrería, y de las soluciones puramente a base de palabras. Bacon piensa que hay que fundarse en hechos sólidos.

Por esto Bacon sostiene que vale más un *individuo* o un *singular* que todos los *universales* del mundo entero. El *universal* no es más que la semejanza que hay entre varios *individuos*.

7. Véase: O. M., P. IV, c. 7; O. T., c. 37; *Communia Naturalium*, P. II; J. H. BRIDGES, «Introduction» en *The Opus Majus of Roger Bacon*, Edited by John Henry Bridges, T. I, Reimpresión Minerva G.m.b.H., Frankfurt/Main, 1964, p. XXXVIII-XLI.

8. Sobre la concepción de los *universales* en GUILLERMO DE OCKHAM, véase: BONNIN, o. c., pp. 106-110.

El *singular* posee dos características: la primera es *absoluta* y consiste en su propia *existencia*; la segunda es *relativa* y consiste en su semejanza con los demás *individuos* de su misma especie, y esto último constituye el *universal*. Pero la naturaleza absoluta del *singular* es mucho más importante que su naturaleza relacional. Pues el *singular* tiene una naturaleza absoluta fija que existe por sí misma, mientras que el *universal* sólo consiste en la conveniencia del individuo con respecto a otro y sólo existe en la mente. Por esto el *singular* es más noble que el *universal*. No sólo la experiencia sino también la Teología, dice Bacon, nos llevan a esta conclusión, pues Dios no ha creado el mundo por amor al hombre en abstracto sino por amor a cada una de las personas individuales.

Por otra parte, toda la cuestión de la *individualización* de los conceptos universales por la *materia*, como decían los aristotélicos, o por la *forma*, como sostenía San Buenaventura y otros neoplatónicos, le parece a Bacon un sinsentido y que no tiene razón de ser.

Bacon sostiene que toda sustancia, tanto si es universal como si es singular, tiene sus propios principios constituyentes. Esta alma y este cuerpo concretos constituyen este hombre concreto, mientras que el alma y el cuerpo en general constituyen el hombre universal. Pero *este hombre* (individual) es anterior por naturaleza al *hombre* (abstracto). El *hombre* como universal es algo meramente accidental y subsidiario con respecto a *este hombre* concreto. Por tanto, viene a decir Bacon, el *universal* está fuera de la esencia del *singular*.

La importancia del singular sobre el universal por su naturaleza absoluta, por su esencia y porque es lo único que existe, es decisiva a la hora de la investigación de la naturaleza. La misión de la ciencia será investigar, observar y experimentar los individuos de la naturaleza⁹.

Con lo cual se puede constatar que la postura de Bacon en la controversia sobre los *universales* es una incitación más para que los filósofos se dediquen a la Ciencia experimental...

3. CONCEPTO Y FINALIDAD DE LA CIENCIA EXPERIMENTAL

Bacon dedica el segundo capítulo de su obra *Communia Naturalium* a estudiar el *Orden universal de las ciencias naturales*. Distingue ocho ciencias naturales: 1) La Filosofía Natural general, que trata de los principios comunes a todas las ciencias naturales; 2) La Perspectiva u Óptica; 3) La Astronomía; 4) La Barología (ciencia de los elementos o de los pesos); 5) La Alquimia; 6) La Agricultura; 7) La Medicina; 8) La Ciencia experimental.

La octava ciencia, como se ve, es la Ciencia experimental. Pero ésta no es una ciencia más, sino que es la que completa y juzga de modo definitivo las proposiciones de todas las demás ciencias. Es más, la Ciencia experimental es la que indica a las demás ciencias cómo tienen que construir sus instrumentos para poder constatar y experimentar sus conclusiones. La Ciencia experimental analiza toda fuerza natural y toda fuerza artificial. Criba separando lo que es magia de lo que es ciencia verdadera, de la misma forma que la Lógica criba distinguiendo los razonamientos verdaderos de los sofismas, para que de este modo no quede nada más que la verdad.

9. Véase *Communia naturalium*, P. II. Dist. II, c. 9-10, en BRIDGES, *o. c.*, pp. XLI-XLIII.

Con lo dicho en el resumen del propio Bacon en la obra *Communia Naturalium*, se puede ver la amplitud del cometido y del método de la Ciencia experimental. Bacon tratará de la Ciencia experimental de una forma más amplia en la parte sexta del *Opus Majus*, que es la parte más original de toda esta última obra.

4. MATEMÁTICAS, EXPERIMENTOS Y LA CIENCIA EXPERIMENTAL

La Ciencia experimental, por lo que acabamos de ver y por lo que Roger expone en la sexta parte del *Opus Majus*, no es un departamento especial de investigación, sino que es más bien un método de investigación que hay que aplicar para controlar las conclusiones racionales conseguidas por procedimientos matemáticos y a la vez para poder abrir nuevos campos de investigación desconocidos hasta el presente.

Para Bacon, la Ciencia experimental no consiste solo en hacer experimentos. Antes de él, muchos pensadores habían realizado experimentos: Desde el experimento de la *clepsidra* de Empédocles, pasando por las investigaciones sobre el sistema nervioso de Galeno o los experimentos sobre la refracción de la luz de Tolomeo, hasta los instrumentos contruidos por los Arabes para precisar las leyes de la reflexión y de la refracción de la luz...

La aportación específica de Bacon no fue tanto hacer experimentos, como más bien proponer explícitamente un método general de investigación como es el de la Ciencia experimental. Todos los científicos implícitamente habían reconocido de alguna manera la importancia del experimento. Pero Bacon lo hace de forma explícita y destina al Método experimental toda una parte importante de la Filosofía.

Y lo que llama más la atención es que la propuesta del método experimental sea hecha por un pensador tan imbuído del espíritu de las Matemáticas que pensaba que las Matemáticas eran la llave de las ciencias. Con la unión de las Matemáticas y del Método experimental, Bacon se anticipa a Descartes¹⁰ y a Galileo. También Galileo a la vez que pensaba que el libro de la Naturaleza está escrito en caracteres matemáticos, propuso el método experimental que tanta influencia ha tenido en los siglos posteriores.

Por lo demás, para Bacon, todas las ciencias están unidas unas con otras, todas las verdades son homogéneas. Así como los ojos guían a todo el cuerpo y los pies lo sostienen y lo guían de un sitio a otro, así también sucede con los distintos departamentos del saber. Todos son parte de un mismo saber total (*O. T. c. 4*). Con esta visión de la ciencia unificada, Bacon se anticipa al *árbol de la ciencia* de Descartes, a la sabiduría universal con sus estadios de Comte, o al *Ideal de la ciencia unificada* del Neopositivismo del siglo XX.

5. CONOCIMIENTO RACIONAL Y CONOCIMIENTO EXPERIMENTAL

Una vez que ha expuesto los fundamentos de la sabiduría de los latinos con respecto a los Idiomas, a las Matemáticas y a la Perspectiva, en las partes anteriores del *Opus Majus*, Ba-

10. BRIDGES, *o. c.* pp. LXXVIII-LXXIX.

con va a exponer los principios o fundamentos de la Ciencia experimental, *sin la cual nada se puede conocer de modo suficiente* (O. M., P. VI, c. 1).

Bacon distingue entre dos modos de conocimiento: *por el argumento y por el experimento* (*per argumentum et experimentum*).

El argumento nos permite conocer la conclusión partiendo de unas premisas, pero no nos da certeza ni quita la duda de forma que nuestro ánimo descanse en la intuición de la verdad, a no ser que encuentre la verdad por vía de la experiencia.

Muchos poseen argumentos sobre ciertos conocimientos, pero al no poseer la experiencia, son negligentes y no evitan lo nocivo ni consiguen lo bueno. Bacon confirma esto con el ejemplo, antes expuesto, del que pone la mano en el fuego. Después de la experiencia del fuego, el ánimo se queda en un estado de certeza y de tranquilidad con la posesión de la verdad de que el fuego quema. Por consiguiente, concluye Bacon, no basta la argumentación racional, sino la experiencia (*Ergo argumentum non sufficit, sed experientia*).

Y la importancia de la experiencia es evidente también en las Matemáticas en las que tan importante es la demostración racional. No basta que uno posea una demostración de un triángulo equilátero para convencerse de su conclusión, si no tiene experiencia alguna de un triángulo equilátero.

Por esto cuando Aristóteles dice que una demostración es un silogismo que produce ciencia (*sylogismus est faciens scire*), hay que entender que se trata no de una simple demostración, sino de una demostración acompañada por la experiencia. Y cuando dice, en el primer libro de la Metafísica, que los que conocen las causas y las razones son más sabios que los que poseen experiencia, Aristóteles se refiere a los expertos que conocen una verdad desnuda sin conocer causa alguna.

Bacon deja bien claro que él cuando habla del que posee experiencia, se refiere al que conoce las razones y las causas mediante la experiencia. Estos son precisamente los perfectos sabios (*Et hi sunt perfecti in sapientia*).

6. CLASES DE EXPERIENCIA

Según Bacon, hay dos clases de experiencia: La primera puede llamarse humana o filosófica y la otra puede llamarse espiritual.

La experiencia filosófica es aquella que se sirve de nuestros sentidos externos y especialmente de la vista. Pero también puede servirse de instrumentos, especialmente con respecto a los objetos celestes (Astronomía), y del testimonio de otros sabios que han experimentado aquellas cosas que no están a nuestro alcance.

Pero la experiencia filosófica o humana no basta. Pues el conocimiento de los sentidos no nos da plena certeza de las cosas físicas cuando su conocimiento es difícil, ni puede alcanzar el conocimiento de las cosas espirituales. Por esto el entendimiento humano necesita la experiencia espiritual de la iluminación interior. Esta iluminación interior puede provenir de la gracia de la fe y de divinas inspiraciones que pueden referirse no solo a cosas espirituales, sino también a las corporales. Bacon expone siete grados de esta sabiduría interior lograda

mediante la experiencia espiritual de la iluminación (de procedencia agustiniana). Pero pienso que no es oportuno exponerlos aquí¹¹.

7. LAS TRES PRERROGATIVAS DE LA CIENCIA EXPERIMENTAL

Al principio del capítulo II de esta misma parte sexta del *Opus Majus*, Bacon nos dice que la Ciencia experimental posee tres grandes *prerrogativas* o *dignidades* con respecto a las demás ciencias. En lo que sigue, hasta terminar esta sexta parte, Bacon dedica cincuenta páginas a la exposición de estas prerrogativas con sus correspondientes ejemplos, ejemplos que se refieren a investigaciones experimentales y ocupando un espacio mucho mayor que el que dedica a la explicación de las prerrogativas.

Estas prerrogativas pueden formularse brevemente como sigue:

- 1) La Ciencia experimental investiga mediante la experiencia las *conclusiones* de todas las demás ciencias consiguiendo una certeza completa para dichas conclusiones, (aunque las demás ciencias hayan partido de premisas apoyadas en la experiencia). La Ciencia experimental refuerza con el experimento lo que las otras ciencias tratan de un modo especulativo sirviéndose de la demostración racional.
- 2) La Ciencia experimental consigue *resultados* que las demás ciencias no pueden alcanzar, aunque estos resultados dependan de ellas. Así la Ciencia experimental puede establecerse en el punto en que terminan las demás ciencias demostrando con experimentos las verdades que las ciencias no podrían demostrar con sus propios métodos.
- 3) La Ciencia experimental crea nuevos Departamentos del saber. Puede descubrir los secretos de la naturaleza, descubrir el pasado, el presente y el futuro. Puede producir efectos y máquinas maravillosas que mejorarán las condiciones de la vida humana.

Sigamos a Bacon en su explicación de las tres prerrogativas:

8. EXPLICACIÓN DE LA PRIMERA PRERROGATIVA DE LA CIENCIA EXPERIMENTAL

Bacon propone literalmente la primera prerrogativa en estos términos: *La primera es que (la Ciencia experimental) investiga mediante la experiencia las conclusiones nobles de todas las demás ciencias. Pues las otras ciencias saben encontrar sus principios mediante experimentos, pero alcanzan sus conclusiones mediante argumentos a partir de los principios encontrados. Ahora bien si (las demás ciencias) tienen que tener una experiencia particular y completa de sus conclusiones, entonces es necesario que tengan la ayuda de esta noble ciencia (la Ciencia experimental)*¹².

11. Se pueden ver en el *Opus Majus*, P. VI, c. 1.

12. Las palabras latinas textuales de Bacon, son: *Una est quod omnium illarum conclusiones nobiles investigat per experientiam. Scientiae enim aliae sciunt sua principia invenire per experimenta, sed conclusiones per argumenta facta ex principiis inventis. Si vero debeant habere experientiam conclusionum suarum particularem et completam, tunc oportet quod habeant per adiutorium istius scientiae nobilis...* Véase O. M., P. VI, c. II.

Es verdad, dice Bacon, que las Matemáticas tienen experiencias universales acerca de sus conclusiones, mediante figuras y números, que también se aplican a todas las ciencias y a esta experiencia, ya que ninguna ciencia puede conocerse sin las Matemáticas (*nulla scientia potest sciri sine mathematica*). Pero si nos referimos a experiencias particulares y completas, constatadas en el campo de cada disciplina, entonces es necesario acudir a esta Ciencia que con razón se llama *experimental*.

A continuación expone largamente, a lo largo de once capítulos, el ejemplo de investigación sobre el arcoiris, y algunos otros ejemplos relacionados con la reflexión y la refracción de la luz como el arcoiris, apoyándose en observaciones y experimentos no siempre del propio Roger Bacon sino también de otros autores anteriores. Estos once capítulos sobre el arcoiris y otros ejemplos menores, constituyen un ejemplo de investigación científica y, a la vez, una demostración de la práctica del método experimental aplicado para confirmar razonamientos matemáticos.

Al final concluye que los ejemplos expuestos sólo pueden ser confirmados por la *experiencia*. Los *argumentos* no pueden dar certeza de los mismos, sino que se requieren necesariamente grandes experiencias mediante instrumentos. Pues todo depende de la experiencia. Por esto Bacon cree que no ha conseguido todavía la verdad plena sobre lo expuesto porque todavía no ha podido experimentar todo lo necesario para certificar las verdades expuestas y porque en esta obra procede *via persuasionis et ostensionis*.¹³

9. LA SEGUNDA PRERROGATIVA

La segunda prerrogativa, con palabras de Bacon, consiste en lo siguiente: Solamente esta ciencia, señora de las ciencias especulativas, puede lograr verdades importantes, en los confines de las otras ciencias, que por ningún medio pueden ser conseguidas por éstas; por consiguiente estas verdades no pertenecen a la sustancia de las primeras, sino que están fuera de ellas, aunque estén en sus confines, no siendo allí ni conclusiones ni principios¹⁴.

Antes de describir tres ejemplos, Bacon advierte que el que todavía es inexperto, primero, tiene que predisponerse a creer a los que han hecho experimentos anteriores; segundo tiene que realizar la experiencia; y, finalmente, tiene que buscar la razón de lo ocurrido en el experimento.

El primer ejemplo que propone Bacon es el de la construcción del *astrolabio* con el que el astrónomo puede observar la longitud y la latitud de los cuerpos celestes en distintos momentos.

13. Con estas palabras Bacon indica el propósito y las limitaciones del *Opus Majus*, que no es una investigación definitiva, sino más bien un extenso plan de investigación que propone al Papa Clemente IV. La investigación definitiva tendría lugar en el *Opus Principale* que Bacon no pudo llevar a término y que dejó solamente empezado.

14. BACON expresa esta segunda prerrogativa en estos términos latinos: *Haec autem est quod veritates magnificas in terminis aliarum scientiarum, in quas per nullam viam possunt illae scientiae, haec sola scientiarum domina speculativarum potest dare; unde hae veritates non sunt de primarum substantia, sed penitus extra eas, licet sint in terminis earum, quum nec sint conclusiones ibi, nec principia*. En *O. M.*, P. VI, capítulo sin numerar que Bacon titula: *Capítulo sobre la segunda prerrogativa de la Ciencia experimental*.

El segundo se refiere a la prolongación de la vida¹⁵, que puede obtenerse mediante un régimen de vida que consiste en el uso moderado de la comida y de la bebida, del movimiento y del descanso, del sueño y de la vigilia, de la evacuación y de la retención, de la disposición del aire y de las pasiones del alma, así como en el buen comportamiento moral y en las buenas costumbres. Por desgracia nadie pone en práctica estas normas sanitarias desde la juventud...

A todo esto hay que añadir remedios medicinales todavía desconocidos por falta de experimentos, los cuales alargarían la vida mucho más. Algunos remedios se encuentran en las obras de Aristóteles, de Plinio, del árabe Artefio y de otros. Bacon piensa que la observación de ciertos animales puede contribuir al hallazgo de remedios medicinales para la prolongación de la vida, a la vez que menciona algunos de dudosa seriedad científica, por ejemplo, la comida de carne de ciertos animales, el oro (siempre que tuviera un grado de depuración mayor que el cuarto grado vigente, cosa que podría obtenerse mediante experimentos)...

El tercer ejemplo se basa en la Alquimia¹⁶ y no se trata tanto de convertir metales inferiores en otros mejores, sino más bien en conseguir oro del más alto grado de perfección. Bacon piensa que los experimentos pueden conseguir oro de más de 24 grados.

Así, dice Bacon, la Ciencia experimental, a través del libro *Secretum secretorum* de Aristóteles¹⁷, sabe producir oro no sólo de 24 grados, sino de treinta y de cuarenta y de cuantos grados se quiera. Este oro purísimo contribuiría no sólo al bien de la sociedad, sino que, con él, se conseguiría eliminar la corrupción del cuerpo humano y prolongar la vida de los hombres para muchos siglos (!)...

10. LA TERCERA PRERROGATIVA

La tercera prerrogativa de la Ciencia experimental consiste en que constituye un nuevo y peculiar Departamento de investigación distinto de las demás ciencias. Por título propio

15. La esperanza media de vida en el siglo XIII, era de unos 45-50 años.

16. BACON tuvo un aprecio considerable por la Alquimia que considera como una ciencia que puede ser especulativa o práctica. Se refiere a ella especialmente en el *Opus Tertium*. BACON relaciona la Alquimia especulativa con la generación de los cuerpos a partir de los *elementos* y con la Medicina; pero consiguió una fama mayor con su Alquimia práctica contenida también en su *Espistola de secretis operibus artis et naturae*. Quizá por su fama, muchos escritos medievales sobre Alquimia fueron falsamente atribuidos a Bacon. Sobre la Alquimia en Roger Bacon puede verse el estudio de WILLIAM R. NEWMANN, *An overview of Roger Bacon's Alchemy*, en HACKETT (Ed.), *o. c.*, pp. 317-336.

17. Bacon utilizó mucho este libro que falsamente creía de Aristóteles y hasta llegó a preparar una edición del mismo con una introducción, diagramas y notas, cosa que no hizo con ningún otro libro. Este libro fue uno de los más leídos en la Edad Media y se convirtió en una especie de *vade-mecum* o *espejo de príncipes*. El libro contiene consejos prácticos sobre política y moral y también trata de asuntos relativos a la salud y a las ciencias ocultas. Sobre él, véase el estudio reciente de STEVEN J. WILLIAMS, *Roger Bacon and the "Secret of secrets"*, en HACKETT (Ed.), *o. c.*, pp. 364-403.

investiga los secretos de la naturaleza, llegando a conocer cosas pasadas presentes y futuras, así como la influencia de los astros sobre el hombre individual y sobre los pueblos¹⁸.

La Ciencia experimental puede realizar múltiples e insospechados inventos. Puede producir efectos y máquinas maravillosas que mejorarán las condiciones de la vida humana, tales como: fuego o lámparas perpetuas, armas que pueden destruir al enemigo sin necesidad de herirle físicamente con la espada, antídotos contra peligrosos venenos, explosivos, naves sin remos ni velas, coches que se desplacen por sí mismos, aparatos voladores, aparatos elevadores, máquinas sumergibles, puentes sin pilares etc. Hay muchas cosas que tienen poderes y propiedades muy extrañas que todavía no conocemos por la negligencia en realizar experimentos...

La atracción del imán es sólo un tipo de atracción entre cuerpos distantes.

Bacon termina su tratado sobre la Ciencia experimental haciendo ver su gran utilidad para la Iglesia y para el Estado. Pues con obras más que con razones se puede convencer mejor a los paganos para que acepten la fe cristiana, sirviéndose de la realización de experimentos que causen admiración distinguiendo bien lo que es mera superstición de la magia y lo que son verdaderos experimentos de la Ciencia experimental. Por otra parte, los príncipes cristianos, con el conocimiento de los inventos de la Ciencia experimental, podrán ahorrar el derramamiento de mucha sangre cristiana...

III. CONSIDERACIONES CRÍTICAS

1. INTERPRETACIONES DE BACON

Dejando aparte las interpretaciones de tipo *mágico, científico y hagiográfico* de siglos anteriores¹⁹, veamos algunas interpretaciones más importantes del perfil *erudito-crítico* corres-

18. Bacon dice textualmente: *Tertia autem dignitas hujus scientiae est. Et est ex propriis per quae non habet respectum ad alias scientias, sed sua potestate investigat secreta naturae. Et hoc in duobus consistit; scilicet in cognitione futurorum praeteritorum et praesentium, et in operibus admirandis quibus excedit astronomiam judiciariam vulgatam in potestate judicandi.* Véase O. M., P. VI, capítulo sin numerar titulado: *Capítulo sobre la tercera prerrogativa o sobre la dignidad del arte experimental.*

19. Un ejemplo de este tipo de interpretaciones puede ser la de William Whewell, según el cual las obras de Roger Bacon no sólo están lejos de su edad por los conocimientos que contienen, sino también por ser tan diferentes del espíritu de su tiempo, por la afirmación de la supremacía del experimento y por su contemplación del futuro de la ciencia, de modo que es difícil de concebir cómo pudo existir tal hombre. W. WHEWELL, *History of the Inductive Sciences, from the Earliest to the Present Time*, 3ª ed, 2 vols., Londres, 1857, p. 259. Otro ejemplo de finales del siglo XIX puede ser el de Andrew Dickson que dice con todo su entusiasmo: *En una época en que hacer experimentos podía costar la pérdida de su reputación y hasta podía poner en peligro su vida, él insistió en hacer experimentos asumiendo todos sus riesgos. Pocos grandes hombres han existido.* A. DICKSON WHITE, *A History of the Warfare of Science with Theology in Christendom*, 2 vols., New York, 1896, p. 387. Véase D. C. LINDBERG, *Roger Bacon and the origins of "Perspectiva" in the Middle Ages. A Critical Edition and English Translation of Bacon's "Perspectiva" with Introduction and Notes*, Clarendon Press, Oxford, 1996, pp. lii-liiii.

pondiente a nuestro siglo, especialmente referentes a la manera cómo se entiende la Ciencia experimental de Roger Bacon.

En 1914, A. G. Little editó el volumen *Roger Bacon Essays*, en el que colaboraron muchos eruditos, que constituyeron el paso a una interpretación erudita y a la vez fundamentada de la obra científica de Bacon. La interrupción de la primera guerra mundial no impidió que se continuara después la tarea con la publicación de varios volúmenes pero ya con la colaboración con Little de F. M. Delorme y F. Withington. En 1940, en plena II guerra mundial, se terminó el volumen XVI: *Communia mathematica*.

Pero volviendo al final de la I guerra mundial, Lynn Thorndike, Raoul Carton y Pierre Duhem, estudiaron más de cerca la ciencia en Roger Bacon echando por los suelos la imagen romántica de un Roger Bacon como si fuera un científico del siglo XIX.

Duhem estudió la Física y la Astronomía de Bacon y no tanto la Ciencia experimental. Afirmó que Bacon sustituyó la noción de *razón* por la de *experiencia* y que la experiencia para Bacon tenía la función de probar la verdad de todas las proposiciones racionales sobre la naturaleza. Además la *verificación* de Bacon se reducía solamente a la *observación*. Duhem concluía que Roger Bacon no conoció el método experimental en el sentido moderno de esta palabra²⁰.

Raúl Cartón aceptó la interpretación de Duhem, realizó una síntesis de los lugares en que Bacon trata de la Ciencia experimental, entendiendo la *verificación* como una *intuición* de la verdad de una proposición a través de un efecto contrastado por una experiencia. Por consiguiente, dice Carton, la utilidad central de la experiencia era, para Bacon, la de confirmar o la falsificar cualquier proposición. Por lo que Bacon era un utilitarista o pragmatista²¹.

Según Thorndike, las ideas de Bacon sobre la Ciencia experimental están más desarrolladas que sus ideas sobre el método matemático. Bacon subraya el papel de la experiencia como criterio de verdad y cree en la necesidad de la experimentación, pero no aclara de forma precisa el modo de proceder y no tiene idea de los métodos científicos de los modernos laboratorios. Más bien se muestra un poco crédulo en las maravillas que él espera conseguir de la ciencia experimental con métodos que nos parecen fantásticos y ocultos. Los experimentos de Bacon no hicieron mucho más que confirmar el *status* medieval del método experimental ni fueron muy distintos de los que se encuentran en las obras de Grosseteste, de Guillermo de Alvernia, de Pedro Hispano o de Alberto Magno. Bacon fundamenta su postura en autores anteriores pero señala los méritos y defectos de un importante movimiento de su tiempo. Sin embargo Thorndike tiende a reconocer en la Ciencia experimental de Bacon un incipiente *método inductivo* para descubrir la verdad mediante la observación y la experimentación. Finalmente Thorndike piensa que La ciencia experimental de Bacon está ligada especialmente con la Alquimia y con la Astrología y que éste no supo trazar la línea divisoria clara entre ciencia y magia. La magia y las ciencias ocultas están en el centro de la Ciencia experimental que al final no fue mucho más que el reconocimiento de que la experiencia es un criterio de verdad y la promulgación de la frase *ciencia experimental*²².

20. P. DUHEM, *Le système du Monde: Histoire des Doctrines Cosmologiques de Platon a Copernic*, T. III, Paris, 1915, p. 442.

21. R. CARTON, *L'Experience Physique chez Roger Bacon*, Paris, 1924, p. 60.

22. L. THORNDIKE, *The True Roger Bacon*, en *American Historical Review*, 21 (1915-16), 237-257, 468-480. Véase también: id., *A History of Magic and Experimental Science*, 8 vols. New York, 1923-

En 1953, el historiador de la ciencia A. C. Crombie, publicó el libro que tuvo una gran influencia: *Robert Grosseteste and the Origins of the Experimental Science 1200-1700*. Crombie demostró que el método *cualitativo* de combinar el método matemático con el método experimental empezó en las Universidades de Oxford y París en el siglo XIII, siendo los personajes más representativos Roberto Grosseteste y Roger Bacon que transformaron el método geométrico griego en el método experimental del mundo moderno. Situó por primera vez a Bacon en la tradición metodológica que arranca con los *Analíticos Posteriores* de Aristóteles. Pero el mérito de ser el fundador de la Ciencia experimental no lo atribuye a Roger Bacon sino a Roberto Grosseteste, afirmando que Bacon fue *uno de los fundadores de la tradición de la ciencia experimental*, reconociendo que Bacon fue el discípulo de Grosseteste que más elaboró y desarrolló la actitud de su Maestro sobre la Naturaleza y sobre la Teoría de la ciencia.

Crombie añade que Bacon, después de desarrollar una teoría de la Ciencia experimental (que incluye las técnicas de verificación y de falsación), puso en práctica su teoría metodológica en investigaciones concretas realizando sus propios experimentos. La exposición de Bacon sobre el arcoiris es para Crombie la ilustración crucial de la teoría del experimento formulada por Grosseteste en su *Comentario a los Analíticos posteriores de Aristóteles*. Por consiguiente, según Crombie, hay que reconocer una suerte de método científico en las obras de Bacon²³.

El estudio de los libros de los secretos, como el que ha hecho William Eamon, ha hecho ver la influencia medieval en la ciencia del Renacimiento y en la primera parte de la Época Moderna. Como se ha dicho antes, Bacon tenía en gran estima el libro *Secretum secretorum* y muchos libros de secretos fueron atribuidos a Bacon.

Finalmente en 1996 Jeremiah Hackett ha publicado un libro de colaboraciones de especialistas en Roger Bacon, titulado *Roger Bacon and the Sciences*. Este libro recoge la investigación más importante y valiosa de los últimos años. El propio Hackett es especialista en la parte correspondiente a la Ciencia experimental en Roger Bacon, a cuyo estudio ha dedicado muchos años. Su colaboración en la citada obra se titula *Roger Bacon on "Scientia experimentalis"*. En lo que sigue, tendré en cuenta las aportaciones de Hackett²⁴.

2. LA CIENCIA EXPERIMENTAL DE BACON

Bacon empleaba los términos *experimento* y *experiencia*, de forma indistinta y en un sentido más amplio que el de hoy. Para Bacon *experimento* venía a significar *prueba* y para él había varias clases de *pruebas*, que él calificaba de *experimentos*, tales como: experimentos artificiales, la experiencia casual cotidiana, narraciones de experiencias de otros observadores,

1958), ii, 649-659; y también id., *Roger Bacon and Experimental Method in the Middle Ages*, en *Philosophical Review*, 23 (1914), 283-292.

23. A. C. CROMBIE, *Robert Grosseteste and the Origins of the Experimental Science 1200-1700*, Oxford, 1953, pp. 8-14. 81-90. 139-140 y 142.

24. J. HACKETT (Ed.), *Roger Bacon and the Sciences. Commemorative Essays*, Studien und Texte zur Geistesgeschichte des Mittelalters, Band LVII, Brill, Leiden, New York, Köln, 1997.

la experiencia espiritual de la iluminación divina y los que podrían denominarse *experimentos geométricos*, que consisten en hacer ver alguna verdad mediante diagramas propios de la Geometría (por ejemplo demostrar mediante un diagrama por qué vemos doble un objeto intermedio cuando enfocamos nuestra vista hacia un objeto más lejano)²⁵.

El término *experimentum*, significa algo más que la *empeiria* de Aristóteles, tanto en las obras de Grosseteste como en las de Bacon. Parece ser que tanto uno como otro recogieron el significado de *experiencia* y de *experimento* del árabe Abu Ma'shar²⁶ y Bacon además está en deuda con el concepto de *experimento* del autor árabe que cita con frecuencia como Alhacen (Ibn al-Haytham).

Según Sabra, fue Alhacen el que introdujo en los debates medievales un nuevo concepto de *experimento* (*i'tibar*, traducido al latín por *experimentum* y sus derivados). El cambio de significado se produjo cuando *i'tibar*, que se empleaba para expresar una prueba en el campo de la Astronomía, se transfirió a otros campos de disciplinas experimentales como la Óptica. El *experimento* consiste en investigar directamente las propiedades físicas o a veces con la ayuda de instrumentos especiales diseñados para el caso. La intención del *experimento* era conseguir certeza y exactitud en una observación a base de someterla a una situación artificial en la que se podían variar las condiciones. Este cambio de significado del término *experimento* (*i'tibar*) supone un desarrollo importante de la Ciencia experimental²⁷. También Crombie, en una obra reciente, piensa que Bacon logra un progreso importante al seguir la *Optica* de Alhacen y aplicar sus conclusiones a su investigación sobre el arcoiris²⁸. Además al final de su investigación del arcoiris, el propio Bacon echa en falta realizar más experimentos *particulares* para descubrir con mayor detalle la estructura del arcoiris y de los fenómenos relacionados con éste.

La investigación sobre el arcoiris de Bacon es presentada por él como un modelo de Ciencia experimental, pero no como un tratado completo sobre esta cuestión. Si buscamos la razón por la que Bacon se dedicó a estudiar esta cuestión, parece ser que fue porque hacia 1266, en la Facultad de Artes de París, se discutían las obras *Meteorologica* de Aristóteles, (en cuyo libro tercero se trata del arcoiris) y el Comentario a esta obra de Alejandro de Afrodisia. Bacon entró en esta discusión porque no estaba de acuerdo con la traducción de la obra de Aristóteles que había hecho Guillermo de Moerbeke.

La forma de tratar el tema del arcoiris es tradicional en el sentido de que Bacon trata, como Aristóteles de buscar las causas científicas de este fenómeno. Quizá la parte más interesante sea la cuestión de si el arcoiris está originado por rayos de luz que inciden o que se re-

25. Véase D. C. LINDBERG, *Roger Bacon and the origins of "Perspectiva" in the Middle Ages. A Critical Edition and English Translation of Bacon's "Perspectiva" with Introduction and Notes*, Clarendon Press, Oxford, 1996, pp. lv-lvii.

26. *Introductorium majus*, Instituto Oriental, Nápoles, 1997. En HACKETT, *Roger Bacon on Scientia Experimentalis*, art. cit., p.289, nota 36.

27. A. I. SABRA, *The Optics of Ibn al-Haytham: Books I-III On Direct Vision, vol. II*, The Warburg Institute, Universidad de Londres, Londres, 1989, pp. 18-19.

28. A. C. CROMBIE, *Styles of Scientific Thinking in the European Tradition: The History of Argument and Explanation especially in the Mathematical and Biomedical Sciences and Arts*, vol I, Duckworth, Londres, 1994, 335-337; HACKETT, art. cit. 289-290.

flectan o que se refractan en las nubes (capítulos VII y VIII), concluyendo que la causa del arco iris no está en la incidencia ni en la refracción, sino en la reflexión de los rayos de sol. Pero esta reflexión no es de toda la nube, como decía Grosseteste, sino de cada una de las pequeñas gotas de agua de las nubes, en las que la luz se refleja.

Con respecto a la objetividad de los colores, Bacon concluye que en las nubes sólo hay una apariencia de color que es resultado de la visión. El color no es real. La discusión del color que se alargará en los siglos posteriores, está relacionada con la discusión sobre el conocimiento humano.

De todos modos hay que reconocer que después de Bacon, se ha tratado de explicar el arcoiris a base de dos refracciones y de una reflexión de la luz en cada gota, como hizo ya en 1307 Teodorico de Freiberg, al que siguieron posteriormente Descartes y Newton²⁹.

3. CONCLUSIÓN

Después de todo lo dicho, podemos dibujar la figura de Roger Bacon y la Ciencia experimental³⁰:

Roger Bacon estuvo verdaderamente muy implicado en el trabajo experimental de la Universidad de París en el siglo XIII. Escribió tratados básicos de Geometría y realizó experimentos con su amigo Petrus Peregrinus de Maricourt sobre el que escribió grandes alabanzas. Se puede afirmar que los dos trabajaron en equipo: Mientras Pedro realizaba experimentos, Roger escribía arduos tratados científicos y a la vez trataba de promover mediante la persuasión el progreso de la ciencia experimental. Se puede decir que el trabajo experimental con instrumentos de estos dos pensadores de alguna forma impulsaron el trabajo experimental de hoy.

Esto no quiere decir que la Ciencia experimental de Bacon sea la Ciencia experimental del siglo XIX o XX, pues sigue siendo una Ciencia experimental medieval.

Pero el trabajo de Bacon y de algunos contemporáneos suyos influyó en la ciencia del Renacimiento. Y la investigación sobre los secretos de la Naturaleza jugará un papel importante en el Renacimiento Inglés y la ciencia moderna, por ejemplo en Francis Bacon y en Descartes. Hay una línea de continuidad entre la teoría medieval de la Perspectiva de Bacon y la Óptica de Descartes, como hay también una continuidad en la Ciencia experimental de Roger Bacon y la Ciencia experimental posterior...

29. Véase HACKETT, *art. cit.* p. 297-306.

30. HACKETT, *art. cit.*, pp. 311-315.