

Algunas precisiones sobre el lenguaje de los textos de Física y Química

Por Arturo CARCAVILLA CASTRO (*) y Lucía PUEY BERNUES (**)

Es un hecho fácilmente comprobable que una gran parte de los alumnos de Bachillerato, incluso de Ciencias, terminan este período de sus estudios sin tener una visión clara, como convendría a una persona culta de nuestros días, de lo que es la ciencia. No comprenden el papel que juegan la teoría y la experimentación.

Para la comprensión de ese papel, lo más apropiado sería que los métodos didácticos reflejaran el proceso de investigación científica, que los alumnos practicasen, en la medida de lo posible, lo que se ha dado en llamar el método o los métodos científicos. Como es sabido, estos métodos son difíciles de resumir en un esquema rígido, ya que los científicos, a veces, parten de conjeturas, libremente; a veces, construyen un modelo para investigación matemática y luego hacen pruebas experimentalmente; a veces, amontonan investigación experimental, estando a la expectativa de que surja lo inesperado; a veces, planean y prueban un gran experimento y obtienen un importante resultado directamente o por clasificación estadística de un conjunto de medidas; a veces, es una serie progresiva de experimentos lo que les lleva paso a paso al conocimiento; a veces, es una mezcla de todo.

El experimento es la piedra de toque, y los científicos están abiertos a la posibilidad de tener que cambiar sus teorías en cuanto estén en contradicción con algún hecho experimental.

La metodología didáctica que predomina en los textos españoles es, fundamentalmente, deductiva. No vamos a analizar los obstáculos que para la eficacia de este tipo de metodología pueda suponer la falta de madurez del alumno. No pretendemos atacar ni defender este tipo de metodología. Simplemente apuntar que su uso, casi exclusivo, junto con la no aclaración de los puntos que indicamos a continuación, conducen lógicamente a una peligrosa confusión respecto a la naturaleza del conocimiento científico.

DISTINCION ENTRE HECHOS OBSERVABLES Y TEORIAS

Notemos que para comprender el papel que juega la teoría es evidente que debe quedar claro que algunos conceptos son auténticos «inventos» teóricos y no hechos directamente observables.

Un obstáculo para la comprensión de lo anterior es la forma en que se expresan los científicos y los textos científicos en algunas circunstancias. Utilizan expresiones que, tomadas literalmente, pueden inducir a error a la persona no experta.

Por poner un ejemplo concreto, y que podamos encontrar en todos los niveles de la enseñanza, hablaremos de los átomos.

Primeramente, ¿qué conocimientos de ellos tienen los científicos? Podemos poner un ejemplo del profesor Eric Rogers. La región de estudio es como una habitación con varias puertas cerradas alrededor de ella. Miran a través de una de ellas y obtienen una visión. Miran por otra y observan un panorama bastante diferente, y así con todas. Por ejemplo, la radiactividad daba una visión, las corrientes de electrones otra, los rayos X otra, el efecto fotoeléctrico otra. Algún efecto de los rayos X se presentaba unido a la radiactividad, alguno con el efecto fotoeléctrico, etc. Finalmente, comparando todo, se fue formando un cuadro apropiado para describir la micronaturaleza.

Nuestro conocimiento ha llegado a formar una teoría tan apropiada que confiamos mucho en ella porque concuerda con nuestra visión a través de muchas puertas. Ahora bien, para haber adquirido ese sentido de seguridad hemos necesitado mirar a través de todas las puertas, y un tiempo para darnos cuenta de la coherencia del cuadro. No se puede pretender que ese sentido se adquiera en unas pocas semanas.

¿Qué es lo que suele pasar en 8.º curso de E. G. B., que es cuando se nombran por primera vez con algún detalle? Se citan los postulados de la teoría atómica de Dalton sin ligarlos con los hechos que le llevaron a enunciarlos, y luego se sigue hablando de los átomos como de objetos que «sabemos» que existen con gran seguridad. Como no se insiste adecuadamente en el carácter teórico del concepto, en los hechos que pueden explicarse con él y en la relación entre los hechos y la teoría, el alumno queda con la impresión de que existe algún aparato para «ver» átomos o algún procedimiento para «demostrar» que existen que no se le ha comunicado. En segundo curso de B. U. P. la situación cambia cuantitativamente, pues se aportan más datos pero no de un modo cualitativo.

Los libros que adoptan la postura de considerar los átomos como objetos, con una total seguridad ante su existencia, están adoptando, quizá inconscientemente, una postura filosófica representada por el siguiente pasaje del físico inglés Sir Arthur Eddington, cuando en la introducción a su libro «The Nature of the Physical World» dice a sus lectores que

(*) Profesor agregado de Física y Química del I. B. de Binéfar-Tamarite (Huesca).

(**) Profesor de Física de la Escuela Universitaria del Profesorado de E. G. B. de Huesca.

al ponerse a escribir su libro acercó sus dos sillas a sus dos mesas. Y para exponer la diferencia entre las dos mesas explica:

«Con una de ellas estoy familiarizado desde mis primeros años... Tiene extensión; es relativamente permanente; tiene color; fundamentalmente es sustancial... La mesa número dos es mi mesa científica. Ella... es más que nada vacío. Diseminadas aquí y allá en ese vacío hay numerosas cargas eléctricas precipitándose a gran velocidad; pero todo su volumen representa menos de una billonésima del volumen de la mesa misma. Sin embargo la mesa sostiene el papel que escribo de un modo tan satisfactorio como la mesa número uno porque cuando dejo el papel sobre ella, las pequeñas partículas eléctricas, con su temeraria velocidad, siguen actuando por debajo de tal modo que el papel se mantiene como suspendido en el aire, a un nivel casi constante... Hay una enorme diferencia entre que el papel esté posado como sobre un enjambre de moscas... Y que se sostenga porque bajo él hay una sustancia, dado que la naturaleza intrínseca de la sustancia es ocupar espacio con exclusión de cualquier otra sustancia... Ni que decir tiene que la física moderna me ha asegurado, con pruebas exquisitas y con una lógica despiadada que mi segunda mesa, la mesa científica, es la única que en realidad está allí. . Ni que decir tiene, por otra parte, que la física moderna no conseguirá nunca exorcizar esa primera mesa-extraño compuesto de naturaleza externa, imaginaria mental y prejuicio heredado, cuando se presenta visible a mis ojos y tangible a mis manos.»

Sin negar la existencia de la mesa número uno como Eddington, la mayoría de los autores de libros de texto adoptan su misma postura respecto a la mesa científica, la número dos.

Una postura contraria es la de negar la existencia de los objetos a que se refieren las entidades teóricas, y considerar éstas como mecanismos formales útiles, ficciones ingeniosamente tramadas que proporcionan una explicación descriptiva y predictiva, formalmente simple, de cosas y acontecimientos observables. Esta postura fue adoptada por el físico austriaco Ernst Mach, que sostuvo que la teoría atómica de la materia proporcionaba un modelo matemático para la representación de algunos hechos, pero que no se podía atribuir ninguna realidad física a los átomos o a las moléculas.

No es necesario adoptar una u otra postura. Se puede permanecer neutral. Ahora bien, ya hemos dicho que a muchos científicos les gran coherencia y fecundidad de la teoría atómica les lleva a considerar a los átomos como verdaderos objetos; sin embargo, en E. G. B. y B. U. P., la evidencia experimental no es tan fuerte como para que ella sola sea capaz de llevar a los alumnos ese sentido de convicción que poseen los científicos. Si presentamos los átomos como objetos, con seguridad total de su existencia, ellos creerán porque lo decimos nosotros y el texto, y no tratarán de profundizar en la relación que pudiera existir entre los átomos y los hechos observables. Pensarán que para conocer el comportamiento de los átomos basta con observarlos. Se pierde así la oportunidad de motivar a los alumnos para que mediten en las relaciones entre una entidad teórica y los hechos que llevaron a postularla.

Una introducción, a mi modo de ver muy adecuada, neutral y acorde con la consideración de los átomos como entidades que postulamos para explicar una serie de hechos de observación viene en el libro de física básica Nuffield.

Al pretender distinguir claramente las entidades teóricas de los hechos, tampoco pretendo que llamemos observaciones únicamente a aquellas que cualquier profano en la materia podría hacer. Consideremos el siguiente pasaje del físico e historiador de la ciencia francés Pierre Duhem:

«Entremos en un laboratorio y acerquémonos a la mesa, poblada por una multitud de aparatos: una pila eléctrica, alambre de cobre recubierto de seda, pequeñas vasijas de mercurio, bobinas y un espejo montado en una barra de hierro; el experimentador está insertando en pequeñas aberturas los extremos metálicos de unos alfileres con cabeza de ébano; la barra de hierro oscila y el espejo adosado a ella lanza una banda luminosa sobre una escala de celuloide; el movimiento hacia atrás y adelante permite al físico observar mínimas oscilaciones de la barra de hierro. Pero preguntémosle lo que está haciendo; ¿responderá: «estoy estudiando las oscilaciones de una barra de hierro que soporta un espejo»? No, dirá que está midiendo la resistencia eléctrica de la bobina. Si nos quedamos sorprendidos y le preguntamos qué significan sus palabras, qué relación tienen con los fenómenos que estaba observando y que nosotros contemplábamos al mismo tiempo que él, responderá que nuestra pregunta requiere una larga explicación y que deberíamos seguir un curso de electricidad.»

No hay inconveniente en llamar observaciones a actividades de ese tipo siempre que reconozcamos la carga teórica que tienen detrás, pues de no hacerlo así daríamos una imagen distorsionada de lo que es la ciencia.

ESCEPTICISMO CIENTIFICO

La historia de la ciencia nos enseña a ser algo escépticos ante las leyes y teorías, y a estar dispuestos siempre a modificarlas en cuanto los hechos las contradigan de algún modo. Es pues deseable que los alumnos adquieran, junto con la confianza en la uniformidad de la naturaleza, o sea, confianza en que lo que ocurre hoy también ocurrirá mañana, que lo que sirva para unos muelles sirva para otros, y que los observadores se ponen fácilmente de acuerdo, adquieran una cierta dosis de escepticismo científico, si queremos que juzguen las leyes y teorías de un modo apropiado.

Existe una cuestión filosófica llamada «el problema de la inducción» que estaría fuertemente relacionado con este punto. El problema de la inducción trata de si están justificadas las inferencias inductivas, o sea, los enunciados universales basados en la experiencia.

Muchos creen que la verdad de estos enunciados «se sabe por experiencia», sin embargo, es claro que todo informe que da cuenta de una experiencia o de una observación o del resultado de un experimento no puede ser originalmente un enunciado universal, sino sólo un enunciado singular. Por lo tanto, quien dice que sabemos por experiencia la verdad de un enunciado universal suele querer decir que la verdad de dicho enunciado puede reducirse, de cierta forma, a la verdad de otros enunciados, éstos singulares, que son verdaderos según sabemos por experiencia; lo que equivale a decir que los enunciados universales están basados en inferencias inductivas.

Podemos considerarlo como un problema estrictamente filosófico, probablemente no se podrá resolver nunca, y no debe preocuparnos constantemente.

Simplemente hemos de ser conscientes de que en última instancia todas las leyes y teorías científicas se apoyan en que sus conclusiones sean acordes con la experiencia, y este tipo de apoyo nunca proporciona certeza.

No se juzga una teoría por lo correcta que pueda ser, que eso nunca lo sabemos, sino por cómo ayuda, sugiere experimentos o promueve ideas. Para muchos científicos, sin embargo, el colmo del valor de una gran teoría no está precisamente en la fertilidad de predicciones, sino en el profundo sentido de seguridad de conocimiento que da.

Ahora bien, los científicos y sus textos, por comodidad, utilizan expresiones que pueden prestarse a confusión, pues cuando una serie de hechos está de acuerdo con las predicciones de una teoría, dicen que aquello «confirma» o «demuestra» aquella teoría. Esto tiene como consecuencia que si a lo largo de un curso no se ha insistido suficientemente en la puntualización de estas expresiones «demuestra» o «confirma» u otras similares acaben considerando como seguras, con certeza todas aquellas leyes tan «demostradas experimentalmente», aparte de que posiblemente no comprendan nunca la distinción entre una demostración en el sentido lógico y otra de este tipo.

DISTINCION ENTRE PROBLEMAS DE LAS CIENCIAS EMPIRICAS Y PROBLEMAS METAFISICOS

Otro punto, quizá de menor importancia, es el relacionado con lo que en filosofía se llama problema de la demarcación. Consiste en encontrar un criterio que permita distinguir entre las ciencias empíricas, por un lado, y los sistemas metafísicos, por otro.

Quizá a algunos pudiera parecerles de escaso interés o bien poco apropiado para considerarlo un profesor de ciencia, pero, sin embargo, en algunos textos existen frases erróneas y totalmente relacionadas con este problema, como la siguiente, tomada de un texto de física y química de segundo curso de B. U. P.: «Una afirmación es científica cuando de ella se obtienen datos concretos.» Un par de ejemplos nos harán ver en seguida lo equivocado de la anterior afirmación.

El primero está sacado del libro «Physics for the inquiring mind», de Eric Rogers, y consiste en un diálogo entre dos personas:

Tú.—No creo en los demonios.

Fausto.—Yo, sí.

Tú.—De cualquier manera, no veo que los demonios puedan hacer la fricción.

Fausto.—Ellos simplemente se paran enfrente de las cosas y los empujan para evitar que se muevan.

Tú.—Yo no puedo ver demonios ni en la masa más áspera.

Fausto.—Ellos son demasiado pequeños, también son transparentes.

Tú.—Pero hay más fricción sobre superficies más ásperas.

Fausto.—Hay más demonios.

Tú.—El aceite ayuda.

Fausto.—El aceite ahoga a los demonios.

Tú.—Si pulo la mesa hay menos fricción y la pelota rueda más lejos.

Fausto.—Estás quitando demonios, quedan menos para empujar.

Tú.—Una bola pesada experimenta más fricción.

Fausto.—Más demonios la empujan y aplasta más sus huesos.

Tú.—Si yo pongo un ladrillo sobre la mesa puedo empujar contra la fricción con más fuerza, hasta un límite, y el bloque se queda quieto con la fricción contrarrestando exactamente mi empuje.

Fausto: Naturalmente, los demonios empujan suficientemente fuerte para evitar que muevas el ladrillo; pero hay un límite a sus fuerzas más allá del cual ellos desfallecen.

Otro ejemplo:

«El astrónomo florentino Francisco Sizzi afirmaba en 1611 que no podían existir satélites alrededor de Júpiter por las razones siguientes: hay siete ventanas en la cabeza: dos orificios en la nariz, dos ojos, dos oídos y una boca; así, en los cielos existen dos estrellas favorables, dos no propicias, dos luminarias y Mercurio, solo, indeciso e indiferente. De este y otros muchos fenómenos de la Naturaleza, tales como los siete metales, etc., que sería tedioso enumerar, llegamos a la conclusión de que el número de planetas es necesariamente siete... Además los judíos y otras antiguas naciones, así como los europeos modernos, han adoptado la división de la semana en siete días y los han denominado según los siete palnetas; si incrementamos este número todo el sistema falla... Asimismo, los satélites son invisibles a simple vista, por tanto no pueden tener influencia sobre la Tierra, son inútiles y, en consecuencia, no existen.»

Es claro, en ambos ejemplos, que se obtienen datos concretos y que son teorías que ningún científico aceptaría.

Karl Popper propone que el criterio para distinguir entre teorías científicas y metafísicas sea el que llama de la falsabilidad, esto es: sólo admitiremos entre los científicos o empíricos un sistema si es susceptible de ser contrastado por la experiencia. Hemos visto al tratar el problema de la inducción que es imposible *verificar* un sistema empírico, esto es, demostrar que es verdad. Exigiremos en cambio que sea *falsable*, esto es, «ha de ser posible refutar por la experiencia un sistema científico empírico».

La teoría de los demonios no se podía refutar de ningún modo, pues siempre se salvaba mediante una hipótesis «ad hoc», sean cualesquiera los hechos. Francisco Sizzi planteaba las cosas de tal modo que no hubiese aceptado ningún tipo de evidencia experimental que fuera en contra de sus teorías.

Parece razonable adoptar este criterio de la falsabilidad a nivel de B. U. P. y E. G. B., no tanto para dirimir entre teorías científicas y metafísicas, como para rechazar las teorías cuando alguna de sus consecuencias vaya en contra de los hechos, pues esto es, en realidad, lo que han venido haciendo los científicos según vemos en la historia de la ciencia, sobre todo en los momentos que T. S. Kuhn llama revoluciones científicas.

Hemos de indicar en honor a la verdad que esta concepción no es la única posible. Existe una posición filosófica llamada convencionalismo, según la cual las leyes de la naturaleza son libres creaciones, invenciones, decisiones arbitrarias y convenciones nuestras. Si esto se acepta, cualquier teoría podría salvarse mediante hipótesis «ad hoc» de una posible falsación. Tampoco sería aceptable desde este punto de vista una teoría como la de los demonios, puesto que fricción y demonios, que no son más que nombres para un mismo conjunto de fenómenos, no se unen con otras propiedades. Partiendo de la teoría atómica, aportando pruebas, podríamos librar el rozamiento con otras propiedades. Ya podría ser entonces la fricción un nombre científico para un com-

portamiento bien ordenado y unido a otro conocimiento.

Apuntamos estas dos posibilidades sin profundizar en ninguna, opinando únicamente que parece más prometedora la de Popper desde un punto de vista práctico a nuestro nivel; pero nos gustaría que este punto se discutiera más seriamente y se investigaran las posibilidades de ambas.

RELACION ENTRE EXPERIENCIAS PERCEPTIVAS Y ENUNCIADOS DE HECHOS SINGULARES

Este punto es excesivamente importante, pero es menos conocido que el anterior. Tiene relación con él, llamado en filosofía problemas de la base empírica. Así se denominan los problemas concernientes al carácter empírico de los enunciados singulares y a su contrastación. El punto más oscuro se refiere a las relaciones entre *experiencias perceptivas* y *enunciados básicos*. (Llamamos enunciado básico a un enunciado que puede servir de premisa en una falsación empírica; brevemente dicho, a la enunciación de un hecho singular).

Se ha considerado con frecuencia que las experiencias perceptivas proporcionan algo así como una justificación de los enunciados básicos: se ha mantenido que estos enunciados están «basados sobre» tales experiencias, que mediante éstas se «manifiesta por inspección» la verdad de aquéllos o que dicha verdad se hace «patente» en las experiencias mencionadas, etc. Todas estas expresiones muestran una tendencia perfectamente razonable a subrayar la estrecha conexión existente entre los enunciados básicos y nuestras experiencias perceptivas. Con todo, se tenía la impresión exacta de que *los enunciados sólo*

pueden justificarse lógicamente mediante otros enunciados: por ello, la conexión entre las percepciones y los enunciados permanecía oscura, y era descrita por expresiones de análoga oscuridad que no aclaraban nada, sino que resbalaban sobre las dificultades.

Podemos encontrar una solución si separamos claramente los problemas psicológicos de los lógicos y metodológicos. Hemos de distinguir, por una parte, *nuestras experiencias subjetivas* o *nuestros sentimientos de convicción*, que no pueden jamás justificarse enunciado alguno y, por otra parte, *las relaciones lógicas objetivas* existentes entre los diversos sistemas de enunciados científicos y en el interior de cada uno de ellos.

Por tanto, debemos ser cuidadosos con el lenguaje, y no introducir más confusión con enunciados de este tipo (también extraído de un texto de segundo curso de B. U. P.): «Las leyes de la Física y la Química se obtienen a partir de la observación de los fenómenos y su generalización». No tiene sentido decir que generalizamos los fenómenos o las observaciones. Es claro que lo que se generalizan son los enunciados singulares acerca de esos fenómenos. Quizá esto pueda parecer trivial, pero hemos podido detectar inquietudes entre los alumnos cuya fuente era alguna expresión de este tipo.

EXPLICACION

Hay otro concepto que suele ser motivo de insatisfacciones entre los alumnos, puesto que la idea que a veces ellos tienen no coincide con la de los científicos. Me refiero al concepto de *explicación*.

GUIA DE CENTROS DOCENTES (5 volúmenes)

Figuran en esta obra todos los Centros de Enseñanza, en los niveles de Educación Preescolar, General Básica, Formación Profesional, Bachillerato y Educación Especial.

Consta de cinco volúmenes, cada uno de los cuales abarca un grupo de provincias. Dentro de cada provincia aparecen separados los centros estatales y los no estatales, ordenándose los municipios y las localidades siguiendo un criterio alfabético. Los tomos son los siguientes:

- I. ALAVA-BURGOS.
- II. CACERES-HUELVA.
- III. HUESCA-MALAGA.
- IV. MURCIA-SANTANDER.
- V. SEGOVIA-ZARAGOZA Y CEUTA Y MELILLA.

El precio de la obra completa es de 6.000 pesetas, pudiéndose adquirir por tomos sueltos a 1.500 pesetas cada uno.

Obra de sumo interés para todas aquellas empresas relacionadas con la educación, por ser la única publicada que ofrece las direcciones de todos los Centros de Enseñanza, estatales y no estatales, existentes en España, así como los puestos escolares, por niveles, de cada centro.

Venta en:

Planta baja del Ministerio de Educación. Alcalá, 34. Madrid-14.

Paseo del Prado, 28. Madrid-14.

Edificio del Servicio de Publicaciones. Ciudad Universitaria, s/n; teléfono 449 77 00. Madrid-3.

En los contextos no científicos el verbo explicar suele ser un predicado triádico: es decir, *alguien explica algo a alguien*. Ahora bien, al discutir la explicación científica algunos autores prefieren centrarse únicamente en términos de sintaxis y semántica.

Los alumnos tienen un concepto de explicación del tipo «reducción a lo conocido» o del tipo «analogía». Buscan un tipo de explicaciones que guarden analogía con leyes ya aceptadas o que relacionen lo desconocido o no comprendido con cosas conocidas.

Ahora bien, independientemente de que en filosofía de la ciencia se pueda discutir sobre definiciones aceptables de lo que se debe considerar como explicación, es claro que muchas de las ideas que en ciencia consideramos explicaciones de unos hechos son leyes, de las cuales puede deducirse, en determinadas condiciones, de enunciados acordes con esos hechos. Esas leyes, la mayoría de las veces, serán más complicadas y menos conocidas que los hechos, por tanto a muchos alumnos les parecerán unas explicaciones poco «explicativas». Hay que hacer ver que en ciencia llamamos explicaciones a ese tipo de cosas.

¿POR QUÉ? O ¿COMO?

Vamos a tratar de aclarar el escaso significado que, a veces, tienen las respuestas a la pregunta ¿por qué? Lo haremos con un ejemplo: Aristóteles estaba interesado con la respuesta a ¿por qué? ¿Por qué caen las cosas? Si decimos «a causa de la gravitación», ¿no nos estamos refugiando detrás de una palabra? Si decimos «las cosas caen porque son pesadas», ¿por qué son entonces pesadas las cosas? Si replicamos «a causa de la gravedad» estamos dando un rodeo. Si respondemos «porque la tierra tira de ellas» la próxima pregunta será ¿cómo sabemos que la tierra tira de ellas cuando están cayendo? Cualquier intento de demostrar esto con una báscula durante la caída conducirá a un desastre. Esto no debe llevarnos al desaliento. De hecho la Física no explica

la gravitación. No puede encontrar una causa para ella, pero puede decir algunas cosas útiles de ella. La Teoría de la Relatividad Generalizada presenta la gravitación bajo una nueva luz, pero no indica su última causa. Podemos decir que las cosas caen porque la Tierra tira de ellas, pero cuando intentamos explicar por qué la Tierra tira, hemos de decir: «la Naturaleza es así». Esto es decepcionante para la gente que espera que la ciencia explique todo, pero nosotros consideramos esas cuestiones de última causa fuera del ámbito de la ciencia. Están en el campo de la filosofía y la religión. La ciencia moderna pregunta qué y cómo y no el primario por qué.

Esto deberíamos tenerlo presente, pues se observan demasiados ¿por qué? mal empleados y pocos ¿cómo? en algunos de nuestros textos. Ahora bien, la ciencia a menudo explica por qué un acontecimiento ocurre. Esto no significa dar una primaria causa o explicación última. Sólo significa relacionar el acontecimiento con otro comportamiento ya de acuerdo con nuestro conocimiento científico, o sea, dar lo que antes hemos llamado una explicación.

BIBLIOGRAFIA

- «Física Básica Nuffield». Ed. Reverté.
HOLTON, G.: «Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas». Ed. Reverté.
BAEZ, A. V.: «The New College Physics». Freeman.
ROGERS, Eric: «Physics for the inquiring mind». Princeton.
POPPER, K. R.: «La lógica de la investigación científica». Ed. Tecnos.
BRAITHWITE, R. B.: «La explicación científica». Ed. Tecnos.
SMART, J. C.: «Entre ciencia y filosofía». Ed. Tecnos.
KUHN, T. S.: «La estructura de las revoluciones científicas». E. C. E.
POINCARÉ, H.: «Ciencia y método». Austral.
POINCARÉ, H.: «La ciencia y la hipótesis». Austral.
Sir EDDINGTON, A. S.: «La filosofía de la ciencia física». Ed. Sudamericana.
HANSON, N. R.: «Patrones de descubrimiento». Alianza Editorial.