Las nociones de "hecho" y "dato" en la Física Clásica y Moderna

Por JUAN DAVID GARCIA BACCA

Especial para THEORIA

(A)

Plan general del trabajo

El plan general de este trabajo está inspirado por las siguientes ideas de Heisenberg, en su obra *Die physikalischen Prinzipien der Quantentheorie* (4 edic., 1944, pág. 49).

«*La adaptación de nuestra manera de pensar y del lenguaje mismo a las experiencias de la física atómica va acompañada, exactamente, como pasó con la teoría de la relatividad, de grandes dificultades. Las discusiones filosóficas acerca del espacio y del tiempo, anteriores a la relatividad, fueron sin duda de gran provecho para la teoría relativista. De manera parecida, en la física atómica pudieran aprovecharse para dilucidar las dificultades conexas con la división del mundo en sujeto y objeto las ideas de anteriores teorías del conocimiento. Ciertas dificultades, características de la moderna física teórica, fueron ya detenidamente tratadas por la filosofía de siglos pasados. Aunque, pues, en sus tiempos tales abstracciones fueran ignoradas por los científicos, dados entonces a las realidades inmediatas, o tenidas por simples juegos del pensamiento, la técnica experimental de nuestros días, tan fina y adelantada, nos fuerza a discutirlas a fondo.*»

Tomo por personal invitación lo que en este párrafo, en forma general y no personal, dice Heisenberg.

¿Qué teorías filosóficas acerca del conocimiento, tenidas por los científicos de siglos pasados cual simples juegos del pensamiento, son las que necesita la física moderna, sobre todo la cuántica, para dilucidar los problemas planteados por la técnica y datos experimentales?

La respuesta a esta pregunta incluye dos partes: *a*) para explicar ciertos datos de la experimentación en física cuántica hace falta emplear, superándola, la teoría kantiana de la escisión del objeto del conocimiento en *cosa en sí* y *fenómeno* (cosa para el conocedor); 2) es imprescindible, además, utilizar nuevos axiomas de la lógica relacional, desarrollados en la lógica griega y medieval, mas pasados por alto en la lógica matemática moderna, probablemente porque la ciencia física del tiempo en que se constituyó (de Leibniz a Russell, Whitehead, Hilbert) no necesitaba de ellos.

(B)

Planteamiento lógico-matemático

Se reduce a cuatro axiomas:

Axioma I. B.

$$(R)R(x, y) \overrightarrow{:\;:} R'\{\bar{x}, \bar{\bar{x}}(\bar{\bar{y}}) ; \bar{y}, \bar{\bar{y}}(\bar{\bar{x}})\}$$

Para cualquier relación, (R), que rija entre dos objetos cualquiera (x, y), el campo de (x, y) queda dividido en dos partes: *a*) $\bar{x}$, $\bar{y}$; *b*) $\bar{\bar{x}}(\bar{\bar{y}})$, $\bar{\bar{y}}(\bar{\bar{x}})$, a saber: un conjunto de aspectos que hacen de fundamento peculiar a la relación considerada, los $\bar{x}$, $\bar{y}$; y otro conjunto de aspectos que entran propiamente en la relación misma, los $\bar{\bar{x}}(\bar{\bar{y}})$, $\bar{\bar{y}}(\bar{\bar{x}})$, que relacionan justa y precisamente x con y e y con x. Por ejemplo: Tomemos la relación vulgar de *menor* (mayor) entre 2 y 3. Es claro que no todos los componentes o notas de 2 y 3 entran propiamente en la relación de menor (mayor). Que 2 sea par, que 3 sea impar, que 2 sea raíz cuadrada de 4, que 2 y 3 sean números, no son aspectos que propia e inmediatamente intervengan en la expresa relación de menor (mayor), aunque, ciertamente, hacen de fundamento sin el cual 2 no sería menor que 3. Por igual motivo, que A sea padre de B, exige e incluye, aparte de la relación expresa de paternidad, el que A y B sean hombres, que sean vivientes, sean reales..., todo lo cual no interviene directa y propiamente en la relación de paternidad, aunque sea imprescindible para que la relación de paternidad sea real o se verifique. Tales aspectos, designados con

$\bar{x}$, $\bar{y}$, tienen el carácter de *propiedad* (o función univariable, como f(x), G(x), de la lógica matemática ordinaria). En cambio: al considerar 2 y 3 desde el punto de vista de las relaciones igual, mayor, menor, pasa a primer plano tal respecto: «que 2 es menor que 3», como primario. El 2 *respecto* del 3 es menor que 3, etc. Que A y B sean hombres (función proposicional de una variable) queda cual fundamento remoto de la relación «A es *padre* de B». Es decir: Toda relación R se descompone, en rigor, en dos partes:

$R'(\bar{x}, \bar{\bar{x}}(\bar{\bar{y}})$; $\bar{y}$, $\bar{\bar{y}}(\bar{\bar{x}}))$: una, de *propiedades*, que hacen de fundamento remoto de la relación, y otra, de aspectos que son los propiamente relacionados. (Los cuatro puntos $\overrightarrow{:\;:}$ con flecha indican un especial tipo de implicación o secuela; puede leerse por «de lo cual se sigue». La especialidad de este tipo de relación implicativa (implicación estricta) no reviste importancia para el presente trabajo.)

Demos, pues, al axioma I, la forma especial:

$$\text{I.1.B.)}\ (R)R(x, y) \overrightarrow{:\;:} \{ (EP')P'(\bar{x}), (ER')R'(\bar{\bar{x}}, \bar{\bar{y}});$$
$$(EP'')P''(\bar{y}), (ER'')R''(\bar{\bar{x}}, \bar{\bar{y}}) \}$$

Descomposición de una relación cualquiera, R, en una función proposicional (fundamento) *y en una relacional propia* (distinción escolástica entre «esse in» y «esse ad» πρός τι aristotélico.

Veremos posteriormente que la parte proposicional corresponde a lo que Kant denominaría *cosa en sí*, como fundamento de la *cosa para el conocedor* (fenómeno). Que la cosa se mantenga en sí y para sí (*an sich*), es condición necesaria para que no la arrastre íntegramente el conocimiento (los aparatos, instrumentos de medida, registradores...) o sea: para que haya realmente objeto (*Gegenstand*), distinto siempre (y distante a veces) del conocedor.

Los símbolos empleados son, de ordinario, los de la lógica simbólica de Hilbert (*Grundzüge der theoretischen Logik*, edic. 1928). Así, (EP') significa «existe al menos una propiedad P' que conviene al objeto $\bar{x}$» : (ER'), existe al menos una relación R' que une propiamente $\bar{\bar{x}}$ con $\bar{\bar{y}}$, etc. La unión entre la parte proposicional y la funcional o relacional queda indicada con una coma, $(EP')P'(\bar{x})$, $(ER')R'(\bar{\bar{x}}, \bar{\bar{y}})$..., porque, como se ve sin más, no es del tipo de unión por implicación (→), alternativa o disyunción (v), o unión copulativa (&), etc.

$\bar{\bar{x}}(\bar{\bar{y}})$ significa: la relación especial de x para con y; $\bar{\bar{y}}(\bar{\bar{x}})$, la peculiar de y para con x; que en principio no será la misma que la $\bar{\bar{x}}(\bar{\bar{y}})$, fuera de casos especiales, como en las relaciones simétricas; igual, paralelo, idéntico...

Con el ejemplo empleado: si entre 2 y 3 rige la relación de menor, hay al menos una propiedad (EP') que vale para $\bar{x}$, aunque no considere o no haya un $\bar{y}$; vgr., la de «2 es número». Y se da también, al menos, otra propiedad que conviene al 3, aunque no esté en expresa relación con el 2, vgr., la de 3 es número...

Axioma de existencia de una propiedad al menos para cada uno de los términos de una relación. La relación se apoya en algo no relacional, o absoluto.

Axioma II. B.

$$(R)R(x, y) \overrightarrow{:\;:} (E\bar{P})\bar{P}(|w|)$$

O sea: para cualquiera (para toda) relación, R, entre dos objetos, x, y, se da una propiedad especial $\bar{P}$, que vale de un cierto valor absoluto, |w|, de cualquiera de las variables, x, y.

Tomemos, como ejemplo, la relación de *más* y *menos* (+ y —) (en números positivos y negativos). Las relaciones que, bajo este respecto, pueda haber entre — 2, +2, — 3, +3, etcétera, quedan anuladas al tomar el valor absoluto: |—2| = |2| : |—3| = |3|, etc.

El axioma II.B pide la posibilidad de anular toda relación, quedando siempre, como en aritmética ordinaria, un cierto valor absoluto, que no es el propio de los componentes o variables de la relación, en cuanto sometidos a ella, como |2| no es, en rigor, ni —2 ni +2.

Esta propiedad privilegiada, $\bar{P}$, no coincide de suyo con los anteriores (P', P''). Para notar su diferencia, y la necesidad de un nuevo postulado, consideremos unos casos: *a*) en la relación (función) elemental, indicada en la ley de Newton, $m(1) \cdot m(2)/r^2_{(1,2)}$, si se quiere que las masas (1, 2) entren en la relación de atracción mutua es preciso, ciertamente, que sean y se mantengan distintas y distantes, pero hace falta ante todo que sean *masas*: (EP′), (EP″). La función univariable o proposicional es, en este caso, *ser masa*. Pero masa hace, con todo, de fundamento propio de la relación de atracción. ¿Tiene sentido físico preguntarse si hay algo así como un valor absoluto de masa, $|m|$, totalmente independiente de su posible relación de atracción, y a lo mejor no igual en valor a la masa que interviene en la relación actual de atracción?

Todo cuerpo dejado a sí mismo, dice el axioma I de Newton, permanece en un estado propio (el de reposo o movimiento rectilíneo y uniforme). Pues bien: la tercera ley de Newton, la de acción y reacción, se correspondería con el primer *Axioma relacional* (Ax. I), pues la masa de cada uno de los cuerpos (1, 2) interviene en este caso como fundamento propio de la relación de acción y reacción; mas en el caso del establecimiento del estado de inercia, la masa cobra carácter de absoluta. (¿Tal masa inercial o absoluta es la misma que la que interviene en la segunda y tercera ley de Newton?)

b) Consideremos un caso más: A es semejante a B en cuanto al color. Mientras existan A y B, la relación de semejanza se funda, como en fundamento propio e inmediato, en el color presente en A y en B. Pero el color $(\bar{x})$ de A, aun siendo en especie igual al de B(y), no es numéricamente el mismo, y han de mantenerse, para que haya relación, distintos y distantes. Cada uno en sí. Es decir: se ha operado la separación de x en dos partes: $\bar{x}$, $\bar{\bar{x}}(\bar{y})$; $\bar{x}$, color en sí (en A, en cuanto distinto de B); y $\bar{\bar{x}}$, color de A en cuanto sujeto de la relación de semejanza con el color de B. Y en B, descomposición parecida, $\bar{y}$, $\bar{\bar{y}}(\bar{x})$.

¿Tiene sentido físico preguntarse: si no existiera B ni ningún otro objeto con color, el llamado color de A se hallaría en estado absoluto, casi inercial puro, tan distinto del color en relación como lo son d^2x/dt^2 (diferente de cero en el caso de fuerza actuante) y dx/dt (constante o cero, en caso de ausencia total de fuerzas)? ¿No quedaría en tal caso reducido el color a su realidad físico-matemática: tal número de vibraciones por segundo, en que no se hace indicación alguna a objetos de *igual* color, a vista, a aparatos que lo fotografíen...? Color simplemente *real*. Color en cuanto existente.

c) 2 es menor que 3. Es claro que tener 2, dos, unidades, y tres, 3, es el fundamento de que uno sea menor (mayor) que otro; de modo que el fundamento, $\bar{x}$, de la relación de menor es tener dos o tres unidades; pero en la relación dicha, las dos unidades de 2 no son algo exclusivamente en él y para él, sino base de la relación de menor respecto de 3, es decir: $\bar{\bar{x}}(\bar{y})$.

Sin embargo, *el dos*, empleando ahora el artículo determinado singular, y singularizante, no es ni mayor ni menor que *el tres*. Cada número, tomado *eidéticamente*—y la terminología viene de Platón—, es una especie aparte, incomparable e incomponible (no sumable, multiplicable, divisible...) con los demás números. Puedo sumar 2 y 3, mas no *el dos* y *el tres*. Añadir a *el dos* una unidad es contradictorio, tanto como añadir a la circunferencia un centro más. El valor absoluto (eidético) de dos es *el dos*; de tres, *el tres*... No tiene sentido hablar de dos veces *el tres*, pero sí de dos veces tres (seis). *El tres* es único, y una sola vez. Y por igual razón podemos decir dos por tres, pero no *el dos* por *el tres*, etc. *El tres* no es ninguna de las ternas o conjuntos concretos (o abstractos) biunívocamente coordinables. *El conjunto* de todos los conjuntos no es un conjunto como ellos, no es uno-de-ellos, pues cada uno de tales conjuntos es *uno-de-tantos* conjuntos: sino *el conjunto*, único, una vez, absoluto. Confundir ambas cosas, ambos conjuntos, lleva a las antinomías lógicas bien conocidas (Russell, Whitehead).

Pues bien: dada una relación, R(x, y), decimos que tiene que haber una *propiedad* al menos, $(E\bar{P})$, que convenga a un valor absoluto $|w|$, de x, y. Tal propiedad no entra ni puede entrar en la relación, ni de manera próxima ni de remota, como *el dos* no entra en 2, *el tres* en 3, ni en ninguna de las relaciones en que entren 2, 3, N. *El conjunto* de todos los conjuntos biunívocamente coordinables no puede entrar ni como un conjunto más ni en las relaciones en que entren los demás conjuntos, que son uno-de-tantos.

Y pongo en esta ocasión una pregunta a discutir en la parte siguiente: que un objeto físico sea *real*, la *realidad* de un objeto físico, ¿no será una propiedad absoluta, no relacionable; algo así como su realidad en estado de ausencia de toda fuerza, de toda causa, de toda relación?

Este *Axioma II.B* sería, en tal caso, un análogo de la *Lex inertiae*.

Axioma III.B.

$$(R)R(x, y) \;\overrightarrow{:\;:}\; (E\bar{R})\bar{R}(x, x) \;\overrightarrow{:\;:}\; Id(x, x)$$

Para toda relación, R, entre dos objetos, x, y, se da una relación privilegiada, R(x, x), al menos, a saber, la de identidad (Id), Id(x, x) de un objeto consigo mismo. Lo que permite dar sentido a la palabra, y a la comprobación, de *mismo* (el *mismo* objeto, el *mismo* electrón, *el mismo* cuerpo, la *misma* molécula...). Lo dicho de x vale, naturalmente, de y.

Para que 2 sea menor que 3 es menester, como condición básica, que el 2 sea y se mantenga siempre el *mismo*, igual hay que decir de 3. Tal relación de identidad, de mismidad del objeto, no puede entrar en igual orden que las demás relaciones (igualdad, paralelismo, causa...), pues precisamente rige entre un objeto y él *mismo*. Las demás relaciones son siempre para con otros objetos.

¿Cómo será físicamente comprobable el que se trate o se esté observando, experimentando, con el *mismo* objeto? No responderemos a esta pregunta en el presente trabajo. Pero es claro que sin la permanencia de la identidad, del *mismo* (objeto x, y), no hay posibilidad ni de poseer propiedades ni de ser sujeto de relaciones.

Axioma IV.B.

Operadores lógicos

Con toda relación se pueden efectuar las operaciones siguientes:

IV.1.B.) Formar el valor doblemente absoluto, ||...||, de la relación R, obteniendo por resultado:

$$||R(x, y)|| : : \{Id(x, x), Id(y, y)\}$$

El valor doblemente absoluto de una relación R es (: :) la relación de identidad (Id) entre los términos, cada uno aparte: x, y. Pero esta identidad no es igual para todos los casos: depende su sentido de la relación inicial. Se puede tratar del mismo *cuerpo*, del mismo *número*, del mismo *hombre*, de la misma *posición*, de la misma *cantidad de movimiento*...

Indiquemos, pues, explícitamente este punto con un subíndice:

IV.2.B) $||R(x, y)|| : : \{Id_r(x, x), Id_r(y, y)\}$

Dada, pues, una relación cualquiera, la aplicación de la operación: formar el valor doblemente absoluto de la relación, ||...||, equivale a volver a la relación básica de identidad. Se trata, evidentemente, de una especie de reducción, que no aprovecharemos en este trabajo.

IV.3.B) El valor absoluto simple de una identidad es, al menos, una de las propiedades absolutas del valor absoluto de la variable, o sea:

$$|Id_r(x, x)| : : \bar{P}(|x|)$$

Lo cual quiere decir: la identidad de una cosa consigo misma no es identidad vacía: es identidad en una propiedad absoluta, o desligada de la relación (R) de que se obtuvo la identidad. Por ejemplo: de la relación «2 menor que 3» sacamos por virtud de IV. 2: «2 es idéntico con 2», Id (2,2), «2 es siempre el *mismo* 2» (igual para 3, etc.); y en virtud de IV. 3, «2 es idéntico con 2, en virtud de *el dos*». Identidad es identidad en una propiedad al menos.

Por estas dos operaciones unimos relaciones con proposiciones y con el principio de identidad.

IV.4.B) Si nos dan un conjunto de objetos x, y, y le aplicamos la operación O_r (relacionar), tal operación (*formación* de R) será o dará una relación precisamente, si los objetos x, y, quedan escindidos cada uno en dos partes: $\bar{x}$, $\bar{\bar{x}}(\bar{y})$; $\bar{y}$, $\bar{\bar{y}}(\bar{x})$. O sea,

$$O_r(x, y) \overrightarrow{:\,:} \{R'(\bar{x}, \bar{\bar{x}}(\bar{y});\ \bar{y}, \bar{\bar{y}}(\bar{\bar{x}}))\}$$

Operación de relacionar, o relación como operación.

El planteamiento de la relación bajo la forma de operación a efectuar o establecer, transforma la forma estática—o de relación dada como hecha y establecida desde siempre, al modo platónico—en forma *dinámica*. Veremos sus aplicaciones a la física. Tratar la relación como algo hecho ya implica poner todas las relaciones en el plano de relaciones matemáticas.

Las relaciones físicas y gnoseológicas más elementales: *medir* (x es medido por y), *observar* (x es observado por y), *conocer* (x es conocido por y, y conoce a x, etc.), son de estilo *relacionar*, imponer relación, relación como operación.

(C)

Aplicación a los conceptos de dato y hecho. Observación, conocimiento físico.

C. 1) Consideremos la noción de *dato*, como operación de relacionar (x *da* a y). Sean los objetos x, y (x, por ejemplo, un cuerpo; y, el observador con sus sentidos, aparatos, instrumentos...).

a) *fase previa*: x, y. Objeto a observar, aparato sin funcionar...

b) Operación de observar (medir, registrar, conocer...). Establecimiento de la relación de observación. Designémosla por O. Hacer, vgr., que un objeto me presente el lugar que ocupa, la cantidad de movimiento que lleva, etc. El Axioma IV.4 tomará la forma

IV.41 $\quad O_d(x, y) \overrightarrow{::} \{D(\bar{x}, \bar{\bar{x}}(\bar{\bar{y}});\ \bar{y}, \bar{\bar{y}}(\bar{\bar{x}}))\}$

Por el acto de observar (O)—con sentidos, con aparatos, con instrumentos...—, o por la operación O de observar (conocer), el objeto se descompone en dos componentes: $\bar{x}$, $\bar{\bar{x}}(\bar{\bar{y}})$: el objeto en cuanto conocido o en cuanto en relación con el conocedor (observador, instrumento...), $\bar{\bar{x}}(\bar{\bar{y}})$; y $\bar{x}$, o el objeto *en sí*, es decir, el objeto en cuanto que mantiene su distinción y su distancia, el estar siendo diferente y distante del conocedor, a pesar de estar siendo conocido, observado, por aparatos, instrumentos, sentidos.

Y a su vez, el observador (conocedor, aparato, instrumento...) queda descompuesto en dos partes: $\bar{y}$, $\bar{\bar{y}}(\bar{\bar{x}})$; $\bar{\bar{y}}(\bar{\bar{x}})$, o la relativa del conocedor a lo conocido, la dependencia del conocedor respecto del objeto conocido, la relación de aparato que registra frente a lo registrado, instrumento que fija, por ejemplo, la posición de una partícula, haciéndola pasar por un agujero, retícula (Cf. H. Margenau, *The Nature of physical Reality*, 1950, páginas 324-326); e $\bar{y}$, o lo que el conocedor (aparato, instrumento) mantiene para sí, o no se funde con el objeto conocido (medido, observado), a pesar de la relación (regla que no se deforma por medir, aparato que no llega a destruirse por la luz que envía...).

La parte izquierda de IV.41 indica el establecimiento de la operación $O_d(\ )$; la parte derecha, el resultado, a saber: que el objeto x da (presenta) a y la relación concreta $\bar{\bar{x}}(\bar{\bar{y}})$, pero mantiene para sí, como reacción frente a tal acción, x; dato de x a y; y a la vez o en uno el aparato (conocedor, etc.) hace, con peculiares acciones suyas (dirigiendo rayos, electrones, mediante lentes, retículas...) que se le presente tal o cual aspecto de x; el aparato *da causa* para que se le presente tal o cual aspecto; por lo cual el aparato (conocedor...) queda a su vez comprometido o relacionado con x, de dos modos: $\bar{y}$, $\bar{\bar{y}}(\bar{\bar{x}})$; se mantiene en sí, a pesar de ser conocedor (fijador, director, medidor...), $\bar{y}$; y además está en relación especial (para cada clase de conocedor, aparato, instrumento...) con x, o sea: $\bar{\bar{y}}(\bar{\bar{x}})$.

Veamos las simplificaciones que tanto la teoría realista filosófica del conocimiento, como la realista en física clásica, introducían inconsciente, pero eficazmente, en este planteamiento general y concreto:

IV. 411) Que $\bar{y}$, $\bar{\bar{y}}(\bar{\bar{x}})$ son cero, o pueden hacerse tan pequeñas cuanto queramos. Es decir: que el observador (conocedor por sentidos, aparatos, instrumentos...) son *pasivos*, o no hacen nada sobre el objeto observado, de modo que no existe realmente la relación de conocedor para con conocido; $\bar{\bar{y}}(\bar{\bar{x}})$ es cero o nula; y por tanto, $\bar{y}$ es cero también (0). La fórmula IV.41 se reduce a

$$O_d(x, 0) :: D(\bar{x}, \bar{\bar{x}}(0))$$

El objeto x se da (se presenta) al conocedor, al aparato. Relación unilateral.

IV.412) No hay por qué distinguir ya entre $\bar{x}$, $\bar{\bar{x}}(0)$; o sea entre lo que ofrece o presenta el objeto al conocedor (aparato...) y lo que el objeto mantiene para sí, es decir: el objeto presenta todo al observador, al aparato. El objeto no tiene nada *en sí y para sí*. No hay cosa en sí, como donde no hay acción no puede haber reacción. Fenomenismo integral.

La fórmula IV.411) sufre entonces otra reducción:

$$O_d(x) :: D(x)$$

Todo lo que tiene x es dado (presentado) al conocedor (al aparato), que no hacen nada sobre el objeto conocido (presentado, medido...). Otro supuesto de la teoría realista del conocimiento en general, y del conocimiento físico en especial según la física clásica. Este realismo puede llegar a tomar la forma de Mach: *no hay más que fenómenos*. Con la agravante, sospechosa para un conocimiento físico, de que el conocedor, a pesar de ser real, no hace nada sobre lo conocido. La relación de conocedor a conocido (de aparato a cosa medida, observada...) es puramente abstracta e inoperante.

Dato reducido a *hecho*.

Hecho es, pues, el residuo que queda tras la doble reducción, IV.411, 412, operada sobre *dato*.

Hecho es, por tanto, del tipo *propiedad*. *Dato* pertenece al tipo lógico de *relación*.

Reducción clásica de una relación a propiedad. Resto de sustancialismo (Cf. Cassirer, *Substanzbegriff und Funktionsbegriff*).

C.2) Pasemos ahora al planteamiento relacional general, adecuado a la física cuántica y a la teoría kantiana del conocimiento.

IV.42) En virtud del Axioma IV.4.B) pondremos:

$$O_d(x, y) \overrightarrow{:\;:} \{D(\bar{x}, \bar{\bar{x}}(\bar{\bar{y}})\,;\ \bar{y}, \bar{\bar{y}}(\bar{\bar{x}}))\}$$

La Observación, como operación que se establece de cuando en cuando y por diversos medios (aparatos, instrumentos, sentidos...) conduce ($\overrightarrow{:\;:}$) a la relación concreta de dato: x da (ofrece, presenta) a y el aspecto $\bar{\bar{x}}(\bar{\bar{y}})$, diverso en principio según sea el conocedor (aparato, instrumento...). A su vez, y hace que x se le presente, y lo hace de diversas maneras—según aparatos, instrumentos, sentidos—; así que el conocedor también *se da*, aporta su propio dato, $\bar{y}(\bar{\bar{x}})$, se da según lo que intente que le dé la cosa conocida.

En general será $x(\bar{\bar{y}})$ diferente de $\bar{y}(\bar{\bar{x}})$. Supongamos, por un momento, que sea verdad la ley de Fechner-Weber, en psicofísica. Lo que el conocedor (aquí con sentidos) percibe o nota que le es dado por el objeto, es solamente *k log E*: el logaritmo natural del excitante (E). En tal caso la intensidad de la luz vista, por ejemplo, no es la intensidad de la luz en sí (física), sino su logaritmo, multiplicado por una constante. Este *dato* inmediato de los sentidos es doblemente dato: luz en cuanto vista, $\bar{\bar{x}}(\bar{\bar{y}})$, que no es la luz en sí, $\bar{x}$; la función $\bar{\bar{x}}(y)$ es aquí k log E; por su parte, el conocedor no puede ser puramente pasivo, pues en tal caso notaría $\bar{x}$, ni más ni menos; luego $\bar{\bar{y}}(x)$ no es cero, y por tanto tampoco lo es $\bar{y}$.

Tomemos un ejemplo más seguro. En la obra citada de Heisenberg (*Prinzipien der Quantentheorie*) estudia el autor las relaciones de indeterminación según los diversos instrumentos empleados para medir posición o impulso (pág. 15-35). El punto de vista que Heisenberg emplea no es, naturalmente, una crítica del conocimiento; sino el de las peculiares acciones de cada tipo de instrumentos sobre los aspectos a fijar o a medir. La única advertencia previa y general es la siguiente: *Die Unbestimmheitsrelationen beziehen sich auf den Genauigkeitsgrad* u n s e r e r *gegenwärtigen (gleichzeitigen) Kenntnis der verschiedenen quantentheoretischen Grössen* (ibíd. pág. 13).

Planteemos nosotros este punto como un caso particular dentro de la teoría general de las relaciones que hemos, de intento, antepuesto.

Supongamos, con la física, que las magnitudes a observar sean p (cantidad de movimiento, momentum), y q (posición en el lugar) de una *misma cosa*, la masa m. Y designe I el aparato empleado para medir o fijar estas magnitudes, o sea para revelar el lugar en que se halla m en un momento dado, o la cantidad de movimiento que está llevando. No perdamos de vista ni un momento que se trata de la *misma* masa.

La IV.43 se escribirá:

$$\text{IV.43)} \qquad O_d(q, I) \overrightarrow{:\;:} \{D(\bar{q}, \bar{\bar{q}}(\bar{\bar{I}})\,;\ \bar{I}, \bar{\bar{I}}(\bar{\bar{q}}))\}$$

La operación de observar (O) la posición (q) de m, mediante el instrumento I, ha de darnos ($\overrightarrow{:\;:}$) cual dato D, no simplemente la posición en absoluto de m, una q no referida a nadie, sino un estado peculiar de q, la $\bar{\bar{q}}(\bar{I})$, la posición suya referida realmente al Instrumento, o sea, a lo que el instrumento pueda hacer que se le presente, pues no consta sin más que un instrumento, sea el que fuere, tenga poder para hacer que todo lo que una masa tiene de colocable en lugar tenga, sin remedio, que ostentarse o hacerse patente a un instrumento cualquiera.

Sea, pues, $\bar{\bar{q}}(\bar{I})$ lo que de colocación en el lugar ostente m ante o por virtud del instrumento I. Es claro, por el Axioma I, que la masa conserva en cierto grado su lugar, o sea que $\bar{q}$ no es cero. Y tiene que ser $\bar{q}$ diferente de cero para que tal masa no se confunda con el aparato, y no resulte, por tanto, observable. A su vez, el instrumento I no es puro lugar de aparición, pasivo, sino que entra en la relación de observación con sus acciones y virtudes peculiares para *hacer* que la m se le presente y le presente su posición. Para lo cual cada instrumento posee su peculiar modo de operación y su eficacia propia. Por ejemplo: para medir o fijar la posición de un electrón libre emplearemos, dice Heisenberg (l. c.), un microscopic con un cierto ángulo de apertura, ε. Y habrá que usar una cierta longitud de onda, λ, o correlativamente una cierta frecuencia, ν, para *hacer* visible la posición del electrón. Y recalco y subrayo lo de *hacer*, pues es la forma como el instrumento entra *realmente* en la relación de instrumento de medida, hace de *órgano físico de conocimiento real*.

(Cf. Max Born, *Atomic Physics*, 1948, A XII, pg. 296; A XXXII, pg. 357.)

El grado de exactitud en la medida de la posición que, en la dirección del eje de las X, ocupa el electrón, está dada por las leyes de óptica, o sea por

$$\Delta x \backsim \lambda / \sin \varepsilon$$

(Véase en dicho lugar los detalles técnicos del experimento.)

El quántum de luz que *hace* se descubra la posición del electrón *ante* el instrumento (función, pues, de dos variables) tiene que ser dispersado por el electrón, y mediante el microscopio llegar a los ojos del observador. Dejemos este útimo punto, que implicaría la introducción de una variable más en la relación básica entre m, q, I. Veremos qué alteración implique. Tal quántum de luz produce en el electrón un efecto Compton, de magnitud

$$h\nu / c$$

Por otra parte, según el Axioma I, el instrumento no se incorpora íntegramente en el fenómeno a observar, pues, en tal caso, faltaría una de las variables de la función Observar, y no habría modo de notar nada, por no haber quien note (mida, fije...).

Así que $\bar{I}$ es diferente de cero.

Según la forma I.1 del Axioma I, se da una propiedad P′ y una P″, para la posición del electrón y para la posición del instrumento, respectivamente. A saber: la propiedad de «estar cada uno en su *lugar*», a pesar de ser observado y de observar, o de fijar su lugar y ser fijado en su lugar.

Distingamos, pues, entre «estar una cosa en su *lugar*»—que es una función univariable, o sea propiedad—y «estar algo en cierta *posición*», que es función bivariable o relación, y que no tiene sentido sin algo a que esté referido o que descubra o fije el cuerpo en *posición*.

Lugar (τόπος) es, pues, algo absoluto; *posición* (διάθεσις) en el lugar, algo respectivo.

Tanto electrón como instrumento tienen que tener en cada momento su *lugar*, para que no se confundan una con otro, y no quede entonces modo alguno de observar; pero ambos tienen que entrar en la relación de *posición*. El aparato hace que el electrón tome *posición* frente a él—posición que, como es claro, dependerá en cierta manera y grado del lugar—y a su vez el instrumento toma *posición* frente a el electrón, dependiendo, como es evidente, la *posición* del instrumento en y por la observación, del lugar que el aparato ocupe.

Lugar corresponde a $\bar{q}$, $\bar{I}$; *posición* a $\bar{\bar{q}}$, $\bar{\bar{I}}$.

Refiriéndonos, pues, a la forma I.1 del Axioma I, diremos: que P′ es *lugar* del electrón; P″, lugar del aparato; por otra parte, según la misma fórmula I.1), tiene que existir una relación, $R'(\bar{\bar{q}}, \bar{\bar{I}})$, para el electrón; y otra, $R''(\bar{\bar{q}}, \bar{\bar{I}})$, para el instrumento. De ordinario el instrumento está construído de modo que la diferencia entre su *lugar* y su *posición*, respecto del objeto a observar, sea lo menor posible. Es decir: que el lugar de aparato *casi* no se altere por su oficio de observar (por su posición). Exigencia de origen clásico, y que no es sino otra forma de decir que el conocedor es pasivo. Se consigue aproximadamente con aparatos macroscópicos. Pongamos, pues,

a) $\bar{\bar{I}}(\bar{\bar{q}}) - \bar{I} :\cdot: 0$ (:·: símbolo de *casi igual*).

Si la masa u objeto a observar pertenece al orden microscópico, como un electrón, la diferencia entre su *lugar* (propiedad) y su *posición* (relación respecto de I) puede no ser nula, y no lo será en principio. La magnitud de tal diferencia dependerá de circunstancias concretas que no tienen importancia para el tema de este trabajo. Pero pongamos:

b) $\bar{\bar{q}}(\bar{\bar{I}}) - \bar{q} = k' > 0$

La fusión o confusión entre posición y lugar, peculiar a la teoría realista del conocimiento, y a la teoría de conocimiento físico clásico, suponía que b) es cero, como lo es prácticamente a) según todos.

La teoría kantiana de la escisión de la «cosa» en *cosa en sí* (cosa con propiedad) y *cosa para el observador* (fenómeno, relación) hace de fondo filosófico de la teoría moderna sobre la observación en física cuántica.

Iguales consideraciones repetiríamos para p, o la cantidad de movimiento. Así que vale

c) $\bar{p}(\bar{\bar{I}}) - \bar{p} = k'' > 0$, mientras que

d) $\bar{\bar{I}}(\bar{p}) - \bar{I} = 0$.

El impulso en sí del aparato no cambia. Pongamos:

$$\text{e)}\quad \bar{\bar{q}}(\ ) - \bar{q} = \delta q = k' > 0\,;$$

$$\text{y}\ \bar{\bar{p}}(\ ) - \bar{p} = \delta p = k'' > 0,$$

tendremos:

f) $\delta q \delta p \geqslant k > 0$, y habremos llegado, por puro examen de los presupuestos lógicos y gnoseológicos de la teoría del conocimiento kantiana y de la teoría medieval de las relaciones a una primera formulación del *Principio de indeterminación* de Heisenberg.