

## LA NOCION DE ESTADO CUANTICO

*Carlos Uribe Gartner*  
*Departamento de Física*  
*Universidad del Valle*

---

### Abstract

It is discussed the semantic value of the word 'state' in the context of Quantum theory. That is to say, when that word is applied to microphysical systems: In which sense that term is used in sentences like: 'Such operator is the density matrix that describes the *state* of a quantum system'? The beginning point is the epistemological characterization of physical theories by means of a notion introduced by Agazzi, "objectivity context". We study the "basic predicates" that define the objectivity context of classical theories. It is shown that the wave function of Quantum Theory does not constitute a basic predicate, and therefore the notion of state suitable to this theory differs semantically from the classical notion of state. It is discussed the peculiar objectivity and knowledge content of the quantum notion of state from the point of vantage of Copenhagen interpretation.

### Resumen

Se discute el valor semántico de la palabra 'estado' en el contexto de la teoría cuántica; esto es, cuando la palabra se aplica a los sistemas microfísicos: En qué sentido se emplea ese término en frases como 'tal operador es la matriz densidad que describe el *estado* de un sistema cuántico'? Se parte de la caracterización epistemológica de las teorías físicas mediante la noción introducida por Agazzi, "contexto de objetividad". Se estudian los "predicados básicos" que definen el contexto de objetividad de las teorías clásicas. Se muestra que la función de onda

de la teoría cuántica no constituye un predicado básico, por lo cual la noción de estado propia de la última difiere semánticamente de la noción clásica de estado. Se discute la peculiar objetividad y contenido cognoscitivo de la noción cuántica de estado desde la perspectiva de la interpretación de Copenhague.

## 1. INTRODUCCION

El hecho de que el electrón carezca de una trayectoria determinada lo priva también de por sí de otras características dinámicas cualesquiera. (1)

Esta frase del conocido libro de Landau nos conduce al meollo conceptual de la teoría cuántica y de sus controvertidos problemas interpretacionales. Tomada literalmente, parece decirnos que no tiene sentido aplicar la noción de estado al electrón: la cualificación 'cualesquiera' deja por fuera toda concebible caracterización de las condiciones particulares del movimiento de este electrón, aquí y ahora. Pero entonces, ¿qué significaría la atribución o asignación a dicho electrón de una **función de onda** o de un **vector de estado** o de una **matriz densidad**, como descripciones teórico cuánticas de su estado?

En este artículo sostendremos que adoptar la hipótesis de "completitud" de Bohr (la teoría cuántica constituye una descripción completa de los sistemas individuales) implica dar a la citada frase un sentido literal. En consecuencia, se debe concebir la noción de estado, en el contexto de la física cuántica, (para abreviar, nos referimos a tal noción con el término **q-estado**), como fundamentalmente diversa de la noción familiar e intuitiva de estado, propia del lenguaje natural y de la física clásica (el "estado clásico", abreviadamente **c-estado**). En otras palabras, pretendemos mostrar la distinción semántica-ontológica entre, por una parte, lo que Landau y muchos otros autores niegan a los sistemas descritos por la teoría cuántica (un c-estado), y por otra, lo representado por el vector de estado o la matriz densidad del formalismo (su q-estado).

En la literatura sobre el problema interpretacional de la teoría cuántica se encuentran abundantes discusiones sobre el tema, si bien pocas veces de un modo explícito (2). Con el presente trabajo se espera contribuir de algún modo a llenar esta laguna.

## 2. CONSIDERACIONES EPISTEMOLOGICAS PREVIAS: “PREDICADOS BASICOS” DE UNA TEORIA FISICA Y NOCION DE ESTADO CLASICO

Los objetos con que nos topamos al interaccionar sensorialmente con el mundo, en la experiencia cotidiana o científica, se nos presentan con unas ciertas características, con una determinada realidad. Muy seguramente ésta es una realidad **débil**, “modelada” por las formas de percepción de la facultad cognoscitiva humana; no obstante, debemos suponer, como sustento ontológico del mundo percibido, una realidad **fuerte** o no fenoménica, a la cual en última instancia se refieren nuestras percepciones.

Algunos elementos de la realidad (débil) inherente a dichos objetos son aprehendidos mediante predicados, atribuibles a éstos de un modo que asumimos verificable objetivamente. Por ejemplo el predicado ‘blanco’. Excluimos así elementos de realidad aprehensibles mediante predicados subjetivos, como ‘bello’. De nuevo, el adverbio ‘objetivamente’ denota, en la proposición antepenúltima, tan solo una **objetividad débil**: cuya noción incluye la de un sujeto que verifica tal atribución, pero no importa cuál sujeto, ni -por definición de objetividad-, tampoco importa el procedimiento seguido para su verificación. Diremos, con las palabras de Landau citadas al comienzo, que estos predicados competen “de por sí” a los objetos sensorialmente percibidos. A pesar del uso de la expresión de Landau, reminiscente del “objeto en sí” (que connota en la literatura filosófica la realidad no fenoménica), no nos situamos gnoscológicamente en una posición realista ingenua (la de pensar que esos objetos y la “forma” bajo los cuales los percibimos están, allá afuera, tal como los percibimos)(3).

Tales elementos de realidad y los correspondientes predicados son los que interesan al físico en cuanto tal. Sin la suposición de que de hecho existen los primeros y podemos establecer los segundos no tendría sentido la ciencia natural. En efecto, al delimitar ciertas características, cuya objetividad (débil) está rigurosamente garantizada mediante operaciones mensurativas precisamente definidas y accesibles a todos, el método físico define un cierto ámbito teórico: un **contexto de objetividad** (4). El físico, al restringirse a estas propiedades, puede soslayar la relación entre su objeto con el sujeto

cognoscente y eludir la cuestión gnoseológica: asume de plano que tiene que vérselas con atributos "en sí" de los objetos que considera.

Con ello se busca, como objetivo último, obtener un conocimiento matemático de la naturaleza. Para lograrlo, es preciso también construir o inventar objetos ideales -tomamos la palabra 'objeto' en sentido gnoseológico-: entidades ficticias, esquemáticas, que modelan e idealizan aspectos de la naturaleza susceptibles de ello. Los enunciados teóricos de la Física se refieren a estos objetos directamente, y de modo mediato a los objetos de nuestra experiencia sensorial. Esta última relación es fundamental: dota de referencia semántica, de contenido físico, a los modelos ideales construidos por el teórico. Se establece mediante las operaciones mensurativas de las propiedades objetivamente determinables que constituyen el contexto de objetividad respectivo.

Dentro del contexto de objetividad de la mecánica clásica, el físico se restringe a los predicados relativos a la situación espacio-temporal de los cuerpos; ente ellos elige, como **predicados básicos**, la posición y la velocidad de las masas puntuales que constituyen el sistema estudiado, y que modelan los cuerpos percibidos. Entendemos por predicados básicos de una teoría física: (a) los que definen los demás predicados de la teoría, que serán entonces predicados derivados; (b) se definen a su vez operacionalmente. La determinación de dichos predicados basta para controlar la coherencia de la construcción teórica con la realidad (empírica o débil) (5).

Para expresar sintéticamente este papel de los predicados básicos de la física clásica, decimos que representan el estado de los sistemas físicos; la palabra 'estado' se toma en su sentido intuitivo, como una noción **a priori** (cuyo significado se considera patente y no analizable). Es decir, el conocimiento de los predicados básicos de un sistema físico equivale a la especificación del estado del sistema.

Es por tanto característica fundamental de los sistemas a que se refiere la mecánica clásica la **posesión** objetiva de un estado, cuyo conocimiento permite la predicción de los resultados de todas las posibles mediciones mecánicas futuras sobre ellos, y la retrodicción de todas las mediciones pasadas. Para llevar a efecto esta predicción en todo instante, introduce un esquema inferencial en el que se conjugan los predicados básicos con los parámetros constitutivos del

sistema (masas y fuerzas), a saber el que proveen las leyes dinámicas newtonianas o relativistas.

La Termodinámica y la Electrodinámica clásicas se apoyan, por su parte, en sendos conjuntos de predicados básicos mediante los cuales se define el correspondiente estado de los sistemas respectivos, y las ecuaciones de estado que determinan su evolución temporal.

Para referirnos a la noción de estado concebido a la manera propia de las teorías clásicas, hablaremos de “c-estado”. Aunque su representación matemática mediante puntos del espacio de fase es propia de los sistemas mecánicos, es esencial a esta noción la idea de localización espacio-temporal, incluso en las teorías no mecánicas. Es ello una consecuencia de su dependencia con las formas de percepción de que está dotada la facultad cognoscitiva humana, de la inserción de toda nuestra experiencia en el marco espacio-temporal.

En las teorías clásicas, es obvia la clasificación de los predicados físicos en predicados básicos y predicados derivados, y el carácter observacional de los mismos, inmediato en el primer caso e indirecto en el segundo. Pero en la física cuántica la situación es completamente diversa: el “predicado fundamental” de la teoría, si es que se puede hablar así, a saber la famosa **función de onda**, bajo ningún punto de vista puede considerarse un predicado básico, en el sentido que hemos discutido. Es ello lo que origina el debate interpretacional de la teoría cuántica, cuyo problema crucial es precisamente el significado de dicha función. Hoy por hoy, no puede ofrecerse ninguna respuesta a este problema que sea completamente satisfactoria; en lo que sigue, procederemos a esbozar algunas ideas que nos parece podrían eventualmente proporcionar elementos de estudio en la búsqueda de una tal solución.

### 3. ABANDONO DE LA NOCIÓN CLÁSICA DE ESTADO

La franca contradicción con la experiencia de las predicciones de la física clásica relativas a los fenómenos atómicos hace patente la inaplicabilidad de los esquemas inferenciales mecánico y electrodinámico clásicos, en el estudio de los electrones y otros fragmentos de materia, de masa muy pequeña y en regiones muy reducidas espacialmente. Entre los muchos resultados enigmáticos, de los que la teoría clásica

no alcanza a dar razón, destaca la famosa difracción de electrones. El paradigmático análisis del experimento de los dos agujeros que presenta Feynman (6) -que suponemos familiar al lector-, deja en claro la imposibilidad de atribuir una trayectoria determinada al electrón, por complicada que fuera, a menos que se le perturbe en su camino hasta el punto de obliterar el efecto de interferencia.

Es decir, la difracción de materia nos obliga a algo asombroso: ¡desechar la idea de trayectoria, como un predicado atribuible a los fragmentos atómicos! Ya que esta idea aúna los predicados básicos de la mecánica clásica (posición y velocidad), es obvio que tal esquema inferencial ha de ser inaplicable en el ámbito atómico. Pero aún más, y lo que es más importante, la misma idea clásica de estado, la de "c-estado", es difícilmente salvable frente al abandono de la idea de trayectoria: como hemos dicho, la localización espacio-temporal parece esencial a la noción de c-estado, estando ésta entroncada directamente con nuestras "formas de percepción".

Pero sin ir tan lejos, es un hecho que tal noción no tiene cabida en los esquemas de inferencia que sustituyeron los clásicos, a saber los de la "mecánica matricial" de Heisenberg, la "mecánica ondulatoria" de Schrodinger reinterpretada por Born, formalismos unificados posteriormente y extendidos por Dirac, Von Neumann, Feynman, etc. En efecto, es bien sabido que en estos esquemas no tiene sentido la existencia simultánea de valores determinados de magnitudes representadas por matrices u operadores no conmutables, como la posición y el momentum.

La "electrodinámica estocástica" y las "teorías de variables ocultas" se pueden considerar como intentos de construir teorías de los fenómenos atómicos apoyadas en una noción de estado del tipo clásico. Aunque han conseguido algunos resultados parcialmente prometedores, hasta hoy no se han visto recompensados por el éxito.

Este último hecho evidentemente no constituye una prueba de que sea inevitable la pérdida del sentido clásico de realidad -es decir, de que haya quedado definitivamente excluída la posibilidad de atribuir un c-estado a los constituyentes fundamentales de la materia-. Sin embargo, la plausibilidad de esta conclusión se apoya en experimentos difícilmente sujetos a interpretaciones distintas a la convencional, no fácilmente compatibles con la idea de movimiento siguiendo una

órbita o trayectoria: difracción de electrones, cuantización de la energía y del momento magnético, etc. (7)

Así pues, mientras los mencionados intentos no logren su objetivo, de definir predicados básicos atribuibles objetivamente al electrón a la manera en que se atribuyen una posición y una velocidad a la partículas clásicas, parece desprovista de sentido o al menos inaplicable la atribución de un *c*-estado a éstos y objetos similares (que llamaremos objetos cuánticos). El "postulado de 'completitud' de la teoría cuántica" equivale a asumir que esta situación es definitiva, por lo que nunca se podrían definir tales predicados.

Ahora bien, confrontando esos hechos y este postulado con las consideraciones epistemológicas previas, cabe preguntarse: ¿Cómo fue posible construir un esquema inferencial tan exitoso, como la mecánica cuántica, sin predicados básicos? Más concretamente, ¿Cómo se caracterizan las condiciones particulares del electrón, sus propiedades no constitutivas y transitorias (i.e., distintas a la masa, la carga y el momento magnético)? ¿Qué idea ha reemplazado la atribución de un *c*-estado el electrón, como base en la construcción de la nueva teoría?

La respuesta es bien conocida: en el formalismo cuántico se representa matemáticamente la diversidad de **estados** asignando a cada uno de éstos un operador hermitiano, positivo definido y de traza unitaria (llamado "matriz densidad" u "operador estadístico"); estos operadores operan en un cierto **Espacio de Hilbert**, característico del sistema. Las reglas del formalismo permiten predecir la estadística de cualquier operación mensurativa sobre el sistema, conocida la matriz densidad que describe el **estado** actual del sistema. No es posible predecir en general el resultado mismo de la medición (por cuanto se presenta una gama de diversos resultados aleatoriamente distribuidos).

¿En qué sentido se está empleando la palabra 'estado' en el párrafo anterior? Esta pregunta constituye una reformulación un poco más precisa del problema interpretativo crucial de la física cuántica, antes mencionado. Este problema, recordémoslo, espera todavía una solución satisfactoria. Las consideraciones que siguen son apenas un intento de respuesta, que no pretenden dejar sentada definitivamente la solución. Introducimos la abreviación **q-estado**, para referirnos

a la noción de 'estado' en el contexto de la física cuántica. Ahora bien, ¿Cuál es el contenido gnoseológico y ontológico del 'q-estado' representado por la matriz densidad, en contraposición al 'c-estado' representado por los predicados mecánicos básicos?

#### 4. "OBJETIVIDAD" DE LA DESCRIPCIÓN DE ESTADO TEÓRICO-CUÁNTICA

Abordemos estas preguntas desde un punto de vista epistemológico: ¿Puede asignarse a la descripción de estado teórico-cuántica un significado objetivo, dando a esta palabra el sentido débil discutido en el n.2? La respuesta que parece más consecuente con lo planteado en el artículo, es la siguiente: la matriz densidad, al no poder ser considerada como descripción del estado del sistema en el sentido clásico de la palabra -lo que hemos llamado el c-estado-, no se atribuye a éste objetivamente, en contraste con las variables dinámicas del formalismo clásico.

La no objetividad de la matriz densidad no es difícil de comprender y sustentar, si la palabra 'objetividad' se toma en su sentido fuerte; significa que no es poseída por el átomo en sí mismo (es decir, no se puede atribuir ontológicamente, con independencia del que un observador la haya de hecho determinado al preparar el átomo o mediante procesos mensurativos, o no la haya determinado)(8). La tesis que defendemos va más allá: la matriz densidad no se puede considerar objetiva ni siquiera en sentido débil. Es decir, no describe un elemento de la realidad empírica o fenoménica. Bajo la suposición contraria, la matriz densidad estaría reemplazando las variables dinámicas posición y velocidad como predicados mecánicos básicos; pero entonces, ¿cuáles serían las operaciones mensurativas que permiten definir operacionalmente este predicado? Si el adjetivo "objetivo" (en sentido débil) connota la posibilidad de definición operacional, la matriz densidad no puede considerarse una propiedad objetiva mientras no sea operacionalmente definible.

Ahora bien, puede objetarse: la asignación de la matriz densidad de un sistema es unívoca en principio (por lo menos en el "caso puro"); puede ser igual para todos los sujetos. ¿No es ello equivalente a afirmar la objetividad débil de este predicado? Respondemos

diciendo que ese acuerdo intersubjetivo es condición necesaria para la objetividad débil, pero no condición suficiente. De acuerdo a lo discutido en el n.2, es condición suficiente y necesaria para la objetividad débil de un predicado su definibilidad operacional. Por otra parte, el acuerdo intersubjetivo sobre la asignación del operador estadístico a un sistema, por ejemplo a un átomo, no es más que una convención de lo que se llama, en el contexto teórico, un átomo en el estado 3S, por decir algo. Pero no podemos determinar el operador para **este átomo**, aquí y ahora (entre otras razones, porque el átomo debe estar acoplado con el campo electromagnético).

Pero entonces, queda pendiente una pregunta decisiva: ¿es la matriz densidad una propiedad subjetiva de los sistemas cuánticos? No podemos contestar positivamente sin caer en el idealismo o peor aún, en el solipsismo: ¿Cómo podría una idea mía determinar propiedades aparentemente objetivas como las frecuencias espectrales, etc? Por otra parte, quedaría vaciada de sentido la explicación que tienen, en el esquema inferencial cuántico, fenómenos tales como el efecto túnel, basados en el carácter ondulatorio de la función de onda.

El enfoque de solución a semejante dilema que parece más razonable es la conocida interpretación de Copenhague: la consideración de los aparatos de medida como sistemas clásicos (i.e., empleando el lenguaje introducido en el trabajo, como sistemas dotados de un c-estado). Estos sistemas nos posibilitan, como veremos en el n.5, formar imágenes clásicas del objeto cuántico (corpúscular u ondulatoria), y predicar del mismo, aunque impropriamente, atributos clásicos, como posición y momentum. Tales imágenes son complementarias en cuanto son aplicables en situaciones experimentalmente incompatibles; no es preciso por ello insertarlas en un esquema unitario, lo cual es imposible de suyo.

Esta interpretación se acerca al objetivo de solventar el dilema planteado en el penúltimo párrafo, abandonando de algún modo la suposición gnoseológica que suyace toda la filosofía occidental: la escisión del mundo en un lado objetivo y uno subjetivo.

El abandono de esta división ya estaría implicado en el abandono de la noción de un c-estado para los sistemas al nivel atómico: difícilmente se puede concebir un mundo empírico, con una realidad aunque sea débil, sin que los objetos que lo constituyen no tengan

propiedades objetivas (por supuesto, en sentido débil).

Si el abandono de la dicotomía objetivo-subjetivo se mantiene, el "mundo microfísico" no podría considerarse el nivel fundamental y primario de la realidad material. De este modo, el nivel macrofísico, el de la experiencia ordinaria, no tendría una realidad derivada o secundaria, lo cual es consistente con la consideración de los aparatos de medida como objetos clásicos. Esta última idea, central en la interpretación de Copenhague, sería insostenible si considerásemos el nivel microfísico como el fundamental. Sin embargo, tras el desentrañamiento de la constitución física de la materia tampoco se podría considerar el nivel macrofísico como fundamental. Por todo ello, la teoría cuántica parece abocarnos a un recorte esencial de las posibilidades humanas de comprensión científica de la naturaleza.

Incluso estaría limitado el sentido de la expresión: aquí hay un electrón, un fragmento de materia existente en sí mismo, subsistente de por sí. Si esta expresión fuese incondicionalmente válida, estaríamos frente a una "substancia" -en su sentido metafísico-, en otras palabras, ese "ente" estaría dotado de un **Estado** (en sentido ontológico) y **a fortiori**, de un c-estado.

Metafísicamente, quizás la situación podría describirse más apropiadamente diciendo que la realidad fuerte, que "sustenta" al Universo, incluyéndonos a nosotros mismos, de algún modo constituye una única substancia, una totalidad inanalizable. Al final del trabajo abordaremos esta cuestión.

No obstante, siendo nuestro lenguaje inherentemente predicamental o categorial, tenemos que hablar impropriamente del electrón como de una cosa, con todo lo que ello implica: Propiedades e interacciones. No se puede perder de vista esta impropiedad: se trataría de una cosa dotada de una realidad bastante peculiar, por cuanto no se le pueden atribuir objetivamente predicados físicos, un c-estado; en su lugar, le asignamos una matriz densidad, que describe lo que hemos llamado su q-estado.

Procedamos a considerar en detalle la relación mensurativa entre el c-estado de los aparatos de medida y el q-estado de los objetos cuánticos mismos, sin olvidar que hablamos de tales objetos en sentido impropio.

## 5. NOCION DE MEDICION Y CONTENIDO DE LA NOCION DE $q$ -ESTADO.

Desde un punto de vista epistemológico, debe notarse que si prescindiésemos totalmente de los predicados básicos de las teorías clásicas sería imposible desarrollar un esquema inferencial físico, a menos que lleguen a ser operacionalmente definibles las pretendidas variables ocultas (i.e., susceptibles de control experimental). La razón es clara: la objetividad débil o intersubjetividad es condición necesaria para la actividad científica; ahora bien, para establecer un contexto de objetividad es esencial la percepción sensible ordinaria, a la que se reduce toda la experiencia científica. Las categorías espacio-temporales perceptuales son por tanto el marco insustituible de todo experimento, lo que nos permite diseñar los instrumentos y decir en términos comprensibles a todos lo que ha sido medido. En otras palabras, sin instrumentos clásicos (i.e., dotados de un  $c$ -estado) no hay posibilidad de estipular un contexto de objetividad, un esquema inferencial provisto de contenido predictivo, controlable experimentalmente. Ese  $c$ -estado de los instrumentos debe incluir, como propiedades relevantes físicamente en última instancia, predicados espacio-temporales (como por ejemplo, la posición de una aguja indicadora sobre un cuadrante).

La anterior consideración epistemológica, enfrentada a los resultados experimentales de la física atómica, nos pone ante una paradoja: no tiene sentido la idea de  $c$ -estado para los "constituyentes" primordiales de la materia, pero sin objetos a los cuales se pueda atribuir válidamente  $c$ -estados no es posible hacer inteligibles esos resultados. En palabras de Landau: "para un sistema formado exclusivamente por objetos cuánticos, sería imposible en general construir una mecánica lógicamente cerrada. La posibilidad de una descripción cuantitativa del movimiento de un electrón exige también la existencia de objetos físicos que, con suficiente exactitud, obedecen a la mecánica clásica."(9)

Si el electrón (o un sistema cuántico arbitrario) entra en interacción con un tal objeto clásico, convenientemente dispuesto, el  $c$ -estado de éste último cambiará en respuesta a esa interacción. El electrón debe tener al menos la capacidad de interactuar con aquél, provocando ciertos cambios en su  $c$ -estado.

En tal capacidad consistiría su  $q$ -estado, en tanto en cuanto el cambio del objeto clásico depende de las condiciones particulares del electrón, esencialmente inaccesibles (10). Por tanto, se toman, **en el contexto de tal interacción**, como característica cuantitativa del electrón. El objeto clásico se denomina "aparato de medición", y "medición" el proceso de interacción electrón-objeto clásico.

La cláusula subrayada establece una salvedad muy importante: los resultados de toda medición deben considerarse relativos a la situación observacional; en otras palabras, el  $c$ -estado en que deviene el aparato a resultas de la medición no se puede atribuir al electrón como una descripción objetiva de sus condiciones particulares de movimiento. Es decir, no constituye una especie de  $c$ -estado vicario del electrón. La razón de ello es señalada en una de las pocas ideas de la interpretación de Copenhague pacíficamente aceptadas: tal interacción afecta **incontrolablemente** al electrón (esto es, incognosciblemente), de una manera tanto más intensa cuanto más precisa sea la medición.

Esta especie de correlación se suele ilustrar con el famoso experimento mental, medición de la posición de un electrón mediante dispersión de un fotón -microscopio de Heisenberg (11)-. Es el contenido físico esencial del principio de indeterminación. Sin ella, sin la imposibilidad en principio de controlar la reacción sobre el electrón en el proceso de medición, sin perder el conocimiento de las otras magnitudes no simultáneamente mensurables, se podría atribuir a éste un  $c$ -estado; aquél asumido por el aparato tras la medición. Esa correlación es inevitable, no por limitaciones técnicas, sino por ser una característica básica e irreductible de la naturaleza. De ella pende la imposibilidad de atribuir un  $c$ -estado al electrón.

En general, el  $q$ -estado del electrón no determina unívocamente el cambio en los predicados clásicos del aparato. Esta indeterminación del resultado de la medición es otra muestra de la no reductibilidad del  $q$ -estado a la realidad de los  $c$ -estados. Pero sí determina las probabilidades intrínsecas (o "propensiones", empleando un término de Popper), de cada posible resultado. En esta regularidad estadística del proceso de medición estriba el contenido cognoscitivo indirecto del esquema de inferencia teórico-cuántico, cuyas prescripciones permiten calcular tales probabilidades a partir del conocimiento de la

matriz densidad.

La regularidad estadística fundamenta ulteriormente la concepción del  $q$ -estado como una capacidad o una virtualidad inaprensible (12). Ya hemos mencionado que el electrón tiene la capacidad de interactuar con el aparato provocando ciertos cambios en él. El proceso de medición constituiría la actualización -hablando en sentido metafísico- de esa potencialidad.

Es preciso aclarar que el término 'capacidad' no se está usando con el sentido que tiene en frases como "la capacidad de hacer trabajo" con la que se explica pedagógicamente la noción clásica de energía potencial. En el contexto clásico, se trata de un atributo del sistema, de un elemento de su  $c$  estado dotado de realidad actual e inmediata, que da lugar a un comportamiento unívoco del sistema. En cambio, la capacidad en que consiste el  $q$ -estado tiene una realidad potencial; así lo manifiesta el indeterminismo cuántico, expresado matemáticamente en el principio de superposición (de estados) del formalismo cuántico. A propósito de este principio, una superposición de  $c$ -estados sería poco menos que una *contradictio in terminis*.

## 6. CONCLUSION

Para terminar, regresemos un momento al problema central planteando en el n.4: ¿es objetivo el  $q$ -estado? Si nos referimos al de los sistemas estudiados en Física (átomos, etc), la respuesta dada contrasta diametralmente con la respuesta que, refiriéndose hipotéticamente al universo como objeto de investigación, nos parece más plausible. En el primer caso, el mero uso de la palabra "objeto cuántico" constituiría un abuso del lenguaje, por lo demás imposible evitar, que no nos debe llevar a pensar en tales objetos como entes existentes plenamente, como 'cosas' en el sentido intuitivo y corriente del término. El  $q$ -estado que "posee" (hablando impropriamente) un tal sistema, lo descrito y representado por la matriz densidad asignada al mismo, no es objetivo, ni siquiera débilmente. Pero tampoco es subjetivo: no pertenece al ámbito incommunicable de un sujeto particular; todos los físicos competentes están de acuerdo en que a un sistema que se comporta estadísticamente de tal y tal manera le

corresponde tal matriz densidad. Es decir, el  $q$  estado constituye una descripción mental de nuestro conocimiento sobre el modo de preparación del sistema y sobre las posibilidades que se pueden asignar a cada uno de los eventuales resultados de su interacción con los aparatos de medida.

Pero el  $q$ -estado del entero universo, incluyendo nuestras mentes, sería objetivo, y por supuesto en sentido fuerte. Ello porque se identificaría en última instancia con el devenir de la realidad fuerte, de la cual sí se puede predicar con plena propiedad la existencia. Tal  $q$ -estado es esencialmente inaprensible para nuestras limitadas mentes -por razones que saltan a la vista-, y por consiguiente no representable por un matriz densidad, no importa que tan complicada sea. No obstante, es el referente último de la matriz densidad de los sistemas considerados en el párrafo anterior: cualquier interacción mensurativa actualiza algún aspecto de la multiforme potencialidad inherente al  $q$ -estado del universo.

## Notas

1. L. Landau y E. Lifshitz, *Mecánica cuántica no relativista*. Reverté, Barcelona, 1972. p.3.
2. Cfr., por ejemplo: J. L. Park, Nature of Quantum States, Am. J. of Phys. 36, 211 (1968). J. B. Hartle, Quantum Mechanics of Individual Systems, Am. J. of Phys. 36, 704 (1968).  
M. Jammer, *The Philosophy of Quantum Mechanics*, Wiley, N. Y., 1974; p. 160-166, 197-204, et Passim. C. F. Von Weizsacker, *La Imagen Física del mundo*, BAC, Madrid, 1974 (orig: *Zum Weltbild der Physik*); p. 22-24, 34-36, 285-339. B. d'Espagnat, *Conceptual Foundations of Quantum Mechanics*, 2nd ed., W. A. Benjamin, Reading (Mass), 1976. p. 64-68, 97-102. N.R. Hanson, *Patrones de Descubrimiento*, Alianza, Madrid, 1977 (orig, *Patterns of Discovery*) p. 255-273.
3. En este artículo no hablaremos de "objetividad fuerte": la propia de los enunciados verdaderos relativos a la realidad fuerte. Por tanto, la expresión "en sí", o "de por sí" no tiene la connotación ontológica usual en la literatura filosófica, sino la de objetividad débil.

4. Cfr. E. Agazzi, *Temas y Problemas de Filosofía de la Física*, Herder, barcelona, 1978 (orig: *Temi e Problemi de Filosofia della Física*), p. 405 ss.
5. Cfr. M. Artigas, *Filosofía de la Ciencia Experimental*, Eunsa, Pamplona, 1989. p.112 ss. Enseguida veremos que la noción de predicados básicos, explicitada en la conjunción de ambas notas, no tiene cabida para la teoría cuántica.
6. Cfr. R.P. Feynman, R. Leighton, y M. Sands, *The Feynman Lectures on Physics*, Addison Wesley, Reading (Mass), 1965. Vol. III, p.1-1 ss.
7. Cfr., por ejemplo, A. Messiah, *Quantum Mechanics*, North-Holland, 1958. Vol. I, p.40.
8. En efecto, considerar la matriz densidad como una propiedad objetiva, en sentido fuerte, pone a la teoría cuántica en aprietos serios, que se suelen englobar en el famoso “problema de la medición”.
9. Ref. (1), *ibid.*
10. Especialmente, porque tales “condiciones particulares” no son las de un objeto en el sentido propio de la palabra. Recuérdese lo dicho al final del n.4.
11. Cfr. Heisenberg, W. *The Physical Principles of Quantum Mechanics*, Univ. of Chicago Press, 1930.
12. Esta concepción fué sugerida, como se discute ampliamente en otro lugar, por Heisenberg. Cfr. C. Uribe, *Presupuestos filosóficos de la Mécanica cuántica según la interpretación de Copenhague, desde una perspectiva realista*. (Tesis. Magister en Ciencias-Física) Universidad del Valle, 1989.