

Filosofía de la Física Cuántica

La respuesta de la Teoría del Cierre Categorial

CARLOS M. MADRID CASADO





El análisis de la física cuántica depende de la Idea de Ciencia que se tenga:

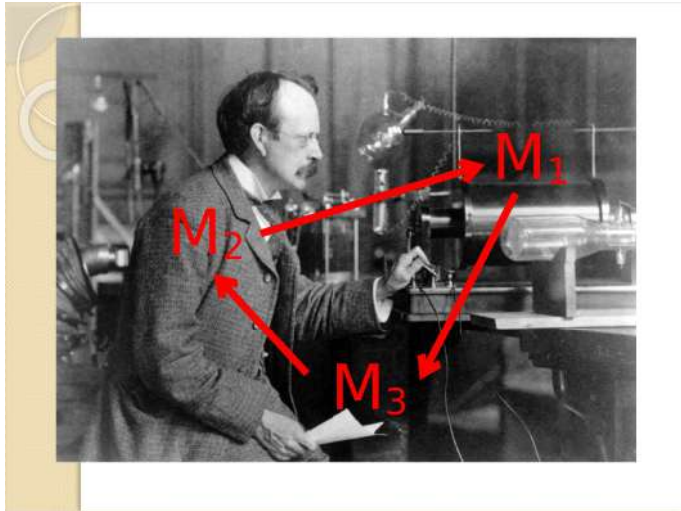
M	F	FILOSOFÍA DE LA CIENCIA	EJEMPLOS Y CORRIENTES
1	1	ADECUACIONISMO (el científico como pintor y la verdad como adecuación, correspondencia, representación)	Galileo, Einstein*, Hawking* Mario Bunge y sus epígonos (G. Romero & al.) Ilkka Niiniluoto, Ronald Giere, Philip Kitcher Realismo estructural (John Worrall) Antonio Diéguez (realismo)
1	0	DESCRIPCIONISMO (el científico como recolector y la verdad como descripción de lo observable, de los hechos)	Círculo de Viena y neopositivistas lógicos Empirismo sofisticado (Bas van Fraassen)
0	1	TEORETICISMO (el científico como pescador y la verdad, a lo sumo, como falsabilidad o coherencia)	Karl Popper, Kuhn, Feyerabend y la SCC Pragmatismo (Larry Laudan) Andrés Rivadulla (instrumentalismo)
0	0	CIRCULARISMO (el científico como arquitecto o músico, cual abeja baconiana, <i>verum est factum</i>)	¿Ian Hacking, Nancy Cartwright, Hasok Chang, Bruno Latour (nuevo experimentalismo y antropología de laboratorio)? Teoría del Cierre Categorial (Gustavo Bueno)

Tesis de la teoría del cierre (I)

- Las ciencias no provienen de la filosofía sino de las técnicas.
- Las técnicas producen los *contextos determinantes* de las ciencias, es decir, las construcciones y los aparatos (el telescopio, el microscopio, la balanza, el tubo de descarga, &c.) que posibilitan el establecimiento de las verdades científicas.
- Además, las ciencias determinan nuevas técnicas, que llamamos tecnologías.
- “¿Acaso la física no cuenta como contenidos internos suyos a las balanzas de Cavendish, a los planos inclinados, a las cámaras de Wilson o a los pirómetros ópticos?” [TCC 101].

Tesis de la teoría del cierre (II)

- El científico es un sujeto corpóreo operatorio; y los aparatos no son prolongación de los sentidos humanos sino términos, operadores y relatores (muestra radioactiva / microscopio, acelerador de partículas / espectroscopios, espectrógrafos de masas, cámaras de niebla o de burbujas).
- El campo (≠ objeto) de una ciencia como la física no es un terreno virgen sino previamente trabajado por múltiples técnicas (astronomía geométrica, cosmografía, balística, artes mecánicas), que se organiza en torno a los *contextos determinantes* y, a su través, comprende toda una serie de realidades recortadas por esas técnicas (astros, proyectiles, sustancias, grafos... “las cosas mismas”).
- “Son los electrones y los protones (y no sus símbolos), en tanto están controlados por los físicos en aparatos diversos (tubos de vacío, ciclotrones, &c.), los que forman parte de la física” [TCC 100].
- El laboratorio como híbrido de taller y academia; y las ciencias como construcciones operatorias que no sólo cambian el mapa del mundo, transforman el propio mundo... ¡¡la bomba atómica!!



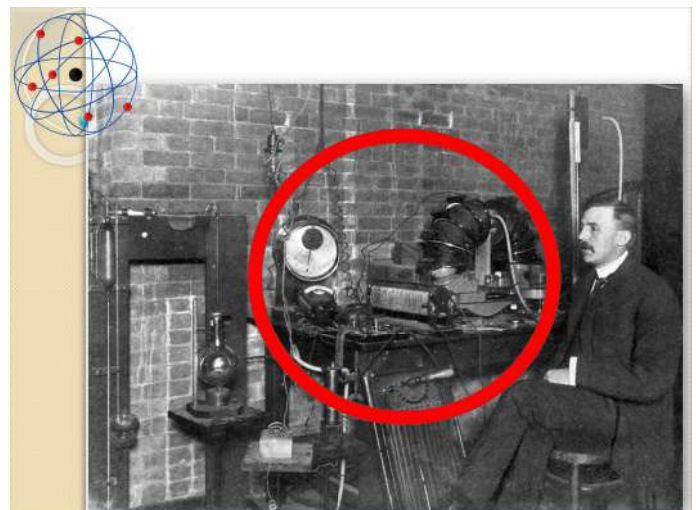
Espacio gnoseológico de una ciencia:

Mecánica cuántica	
Eje sintáctico	
Términos	«electrones, fotones, partículas α , funciones de onda»
Operaciones	«observaciones, mediciones, operadores de onda»
Relaciones	«ecuación de Schrödinger, relaciones de Heisenberg»
Eje semántico	
Referenciales	«aceleradores de partículas, cámaras de niebla, espectrómetros»
Fenómenos	«rayos y radiaciones, rayas espectrales»
Esencias	«modelos atómicos y nucleares, espectros atómicos»
Eje pragmático	
Normas	«reglas de las cantidades cuánticas»
Autologismos	«heurística de la observabilidad y de la intuitividad»
Dialogismos	«colaboración Heisenberg-Born-Jordan, labor de Schrödingers»

El cierre categorial de una ciencia (I)

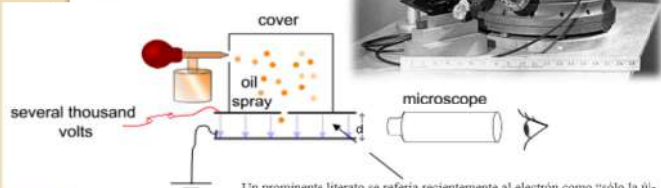
- En el espacio gnoseológico destacan los contextos determinantes. Ejemplos: el plano inclinado, la máquina de Atwood, el espectrómetro, el interferómetro o los aceleradores de partículas («las cajas de las esencias cuánticas»).

El Papel Constitutivo del Aparato



Experimento de la gota de aceite:

27 El físico experimental Robert Millikan lo expresaba así al recoger el Premio Nobel en 1926: «La ciencia avanza sobre dos pies, la teoría y el experimento [...] Una vez se posee delante uno de los pies, el otro, para el progreso continuado sólo es posible usando ambos -teorizando y después experimentando- o hallando nuevas relaciones en el proceso de experimentación y luego dando un paso con el pie teórico, y así alternándose sin fin» (Millikan, 1924).



Un prominente literato se refería recientemente al electrón como "sólo la última hipótesis científica, que se convertirá en el abracadabra de mañana". [...] La prueba más directa e inambigua de la existencia del electrón se encontrará en el experimento que por conveniencia llamare "el experimento de la gota de aceite". [...] El éxito del experimento realizado en 1909 se debió completamente al diseño del aparato, *tal est*, a la relación entre sus partes.

El cierre categorial de una ciencia (I)

- En el espacio gnoseológico destacan los contextos determinantes. Ejemplos: el plano inclinado, la máquina de Atwood, el espectrómetro, el interferómetro o los aceleradores de partículas («las cajas de las esencias cuánticas»).
- Modos de converger en teoremas, en verdades: definiciones (electrón o neutrino), demostraciones (deducción del espectro del hidrógeno), clasificaciones (tabla periódica cuántica), modelos (modelo atómico de Bohr o modelo atómico orbital).
- Verdad como identidad sintética frente a verdad como adecuación o coherencia (o a prescindir de la verdad).



A vueltas con la verdad científica como identidad sintética:

- Confluencia de cursos operatorios independientes en forma de relación de identidad entre términos en el ámbito de un contexto determinante. [Ejemplo: O₂]
- "El lugar de la verdad científica es la armadura o contexto determinante en que se constituye [...] El oxígeno debe ser reconocido como una verdad necesaria, no en la perspectiva del Universo, o de Dios, o del Espíritu o de la Humanidad, sino en la perspectiva de la *campana de Lavoisier* [...] La verdad se va propagando precisamente conforme se desarrollan sus propias armaduras" [TCC 182].
- Los *contextos determinantes* funcionan como colimadores, que pautan los fenómenos, aislándolos de interferencias, y posibilitando de este modo su resolución en estructuras esenciales. [Ejemplo: plano inclinado]

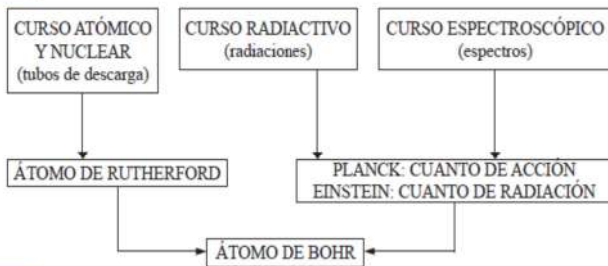


"La realidad que aprehende la ciencia es la que puede incorporarse al curso de un cuerpo que crece sobre las figuras de esos *planos secantes* de la realidad que son las categorías y sus contextos determinantes" [TCC 900 --> MQ].

Por consiguiente, no hay que buscar la verdad fuera de la categoría científica, en la correspondencia con una realidad externa. La verdad científica es interna a los contextos determinantes, y por medio de ellos las ciencias incorporan –transformándolas- partes de la realidad (pero no se trata de un mundo prístino, *natural*, sino de un mundo tecnificado, con materiales culturalmente dados).

Afirmar que los teoremas que construyen las ciencias son verdad respecto a los contextos determinantes no es negar su verdad; es, simplemente, negar que sean verdad de forma irrestricta, absoluta, con respecto al mundo concebido natural o anantrópicamente.

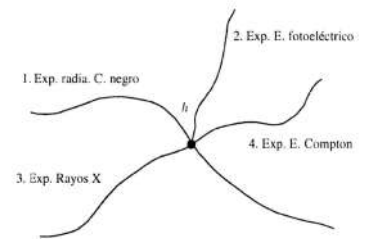
Teorema del «átomo de Bohr» (Bueno 1982):



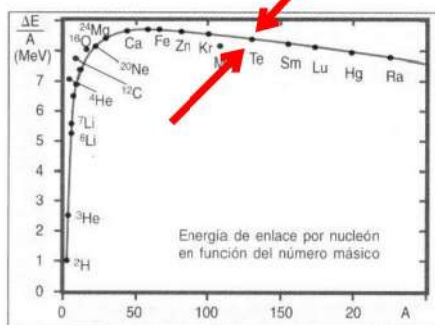
Materia y radiación

Medida de constantes físicas:

h (constante de Planck): cuerpo negro, efecto fotoeléctrico, rayos X, efecto Compton, efecto Hall cuántico...



Otro ejemplo de identidad sintética en física cuántica:



El cierre categorial de una ciencia (y II)

- **Cierre categorial** designa a los procesos operatorios que conducen a la constitución de una nueva ciencia. Las ciencias como categorías «cerradas».
- Una operación \otimes es cerrada en una estructura \mathfrak{C} si para todo $x, y \in \mathfrak{C}$ se tiene que $x \otimes y \in \mathfrak{C}$. Ejemplo: el cierre de la química.
- “No hay tantas ciencias como categorías, sino tantas categorías como ciencias” [TCC 602]; porque “es el cierre operatorio el que determina la constitución de un dominio del universo como una categoría” (Bueno 2011).
- No existe la Ciencia sino las ciencias. Por tanto, la realidad no se agota en una única categoría (pluralismo discontinuista)... ¡¡MC, TR y MQ!!



¿Puede separarse Materia (ontología) y Forma (formalismo) al modo adecuacionista?

$P(T|S) > P(T|\sim S)$

La Promesa del Realismo Estructural

Lo mejor de ambos mundos (John Worrall, 1989)

Fresnel

Ecuaciones

Éter

→

Maxwell

Ecuaciones

Campo Electromagnético

→ La ontología cambia (Éter → Campo), pero la estructura matemática permanece.

“Hay una continuidad en la estructura matemática, aunque no necesariamente en la ontología.”

$P(T|S) > P(T|\sim S)$
 $\} = \lim S_i$

La Prueba de Fuego: El Cisma de 1925-1926

$P(T|S) > P(T|\sim S)$

Heisenberg
Mecánica Matricial (Discontinuo)

$$\begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} \end{bmatrix}$$

- Herramienta: Álgebra / Matrices
- Ontología: Partículas, Saltos Cuánticos
- Visión: Repulsión hacia la visualización

Conflicto Mutuo

Schrödinger
Mecánica Ondulatoria (Continuo)

$$\Psi(x,t)$$

- Herramienta: Análisis / Ecuaciones Diferenciales
- Ontología: Ondas, Campos Continuos
- Visión: Intuitiva y visualizable

Incompatibilidad Estructural: ¿Discreto o Continuo?

Espacio de Sucesiones (Discreto)

↔

Espacio de Funciones (Continuo)

Sin Isomorfismo Estructural

La Trampa de la Equivalencia Matemática

$P(T|S) > P(T|\sim S)$

Teorema de Von Neumann (1932)

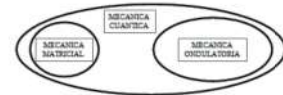
Mecánica Matricial = Isomorfismo en el Espacio de Hilbert = Mecánica Ondulatoria

“Una estructura de nada es nada.”

No Hay Forma sin Contenido
La Carga Ontológica de las Matemáticas

Las matemáticas no son un contenedor neutral. Aceptar el **Espacio de Hilbert** es aceptar la **ontología** que carga (sea discreta o continua). No se puede separar la “Estructura” pura de la “Naturaleza” física.

FORMULACIÓN	Fecha	Creador	Entidad Matemática	Herramienta Matemática	Rasgos Destacables
MECÁNICA MATRICIAL	1925	Heisenberg	Matrices	Cálculo Matricial	Historia de la observabilidad
MECÁNICA ONDULATORIA	1926	Schrödinger	Funciones	Cálculo Diferencial	Historia de la simpatía
MECÁNICA DE DIRAC	1927-1930	Dirac	Funciones Singulares	Análisis Matemático	Pragmatismo
MECÁNICA DE VON NEUMANN	1927-1932	Von Neumann	Clases de Equivalencia de Funciones	Análisis Funcional en Espacios de Hilbert	Rigor
MECÁNICAS A LA DIRAC, SCHWARTZ & GELFAND	1966-1978	Amo Inan, Roberts, Meibohm	Distribuciones	Análisis Funcional en Espacios empujados o espaciales de Hilbert	Cuajados rigor y pragmatismo, pero hay múltiples versiones no del todo equivalentes



Contra la distinción formalismo / interpretación como la entienden de modo neutro algunos físicos, los bungeanos o los realistas estructurales...

La **CARGA ONTOLÓGICA DE LAS MATEMÁTICAS**: "Si hay una ecuación de ondas, tiene que haber ondas", Schrödinger; Poincaré y las ecuaciones diferenciales; $AB \neq BA$ ó $\psi_1 + \psi_2$ en el E.H. de MQ; las partículas como representaciones irreducibles del grupo de Poincaré... ¡¡Las matemáticas condicionan, aunque no determinan!!

Cuestiones filosóficas sobre la "interpretación" de la MQ: dualismo e indeterminismo

Dualidad onda-corpúsculo de fotones y electrones:

Experimentos de Compton 1922, de Davisson-Germer 1927 y de la doble rendija 1961+1974. Los «cuantones» no son ondas ni corpúsculos. Onda y corpúsculo como conceptos conjugados, según Bueno (1978), dados a la escala corpórea del *mundus adspicibilis* (vs. realismo adecuacionista). Complementarios ("contextuales"), subraya Bohr, dependiendo de que el dispositivo experimental sea tipo colisión o tipo radiación.

• **Problema de la medida**: el colapso o reducción de la función de onda, que rompe la superposición de estados (vivo-muerto), y el indeterminismo cuántico (vivo ó muerto).



Determinismo(s) e Indeterminismo

En MC y TR, cuando conocemos con precisión el estado del sistema en el presente (DV), podemos predecir el estado del sistema en el futuro (DD y DU):

- **Determinismo Valorativo (DV)**: El estado del sistema está bien definido en todo tiempo.
- **Determinismo Diferencial (DD)**: Existencia de una ecuación diferencial para la dinámica del sistema.
- **Determinismo Único (DU)**: Unicidad de la evolución del estado del sistema.

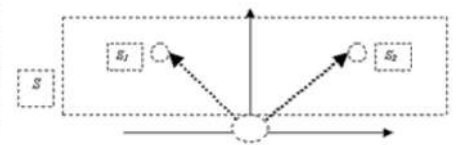
Atención: $DU \rightarrow DD$ pero no al revés.

Además, $DV+DU+Estabilidad \rightarrow$ Predictibilidad (la estabilidad excluye el caos determinista).

En la MQ estándar (Copenhague), no se cumple DD, DU ni DV:

No se cumple el DD ni el DU, porque la aplicación de la ecuación de Schrödinger viene limitada por el postulado de proyección de la función de onda (la regla de Born se aplica a ψ interpretada como individual, no como relativa a un colectivo estadístico de partículas cuánticas idénticas).

Y no se cumple el DV, porque el postulado cuántico introduce, apunta Bohr, una discontinuidad que hace toda interacción no despreciable: al medir generamos -no perturbamos- q ó p (relaciones de indeterminación -no incertidumbre- de Heisenberg). EPR:



Más dificultades para el realismo científico adecuacionista:



El precio que hay que pagar por recuperar el determinismo (DU + DV) es demasiado alto: variables ocultas no locales y contextuales, esto es, donde hay correlaciones instantáneas y donde no todas están definidas al mismo tiempo con independencia del dispositivo experimental (desigualdades de Bell, experimentos de Aspect en 1982 y teoremas de imposibilidad de Kochen-Specker y de PBR).

No obstante, en MQ no hay "acción fantasmal a distancia" (la clave está en la preparación del entrelazamiento cuántico); pero tampoco se trata de una mera correlación (como la de las caras de un dado $1+6=7$, porque entre las caras de un dado no media separación; o como entre dos sobres con la mitad de un naipe cada uno, porque durante el viaje de los sobres la carta no está definida).

INTERPRETACIÓN	Dinámica	EE	¿QM no-local?	DU+DU	DV	Problemas
COOPENHAGEN	Eq. Schrödinger + Postulado de Proyección	SI	NO	NO	NO	Medida, EPR
VARIABLES OCULTAS LOCALES	Eq. Schrödinger (con postulado de proyección)	NO	SI (cumplir la desigualdad de entrelazamiento y propiedades)	SI	SI	BELL
VARIABLES OCULTAS NO-LOCALES	Eq. Schrödinger (con postulado de proyección)	NO	SI (cumplir la desigualdad de entrelazamiento y propiedades)	SI	SI	KOCHEN-SPECKER
BOHR	Eq. Schrödinger + Eq. Bohr	NO	SI (cumplir la distancia)	SI	SI	Relatividad Especial
GRW	Eq. GRW	SI	SI (cumplir la distancia)	NO	NO	Medida, Probabilidad
MUCHOS MUNDOS	Eq. Schrödinger (con postulado de proyección)	SI	NO	SI	SI	Medida, Probabilidad
MUCHAS MENTES	Eq. Schrödinger (con postulado de proyección)	SI	NO	SI*	SI*	Medida, Probabilidad

COLAPSO ESPONTÁNEO ≠ DECOHERENCIA CON EL ENTORNO

Ni indeterminismo ni acausalismo completos:

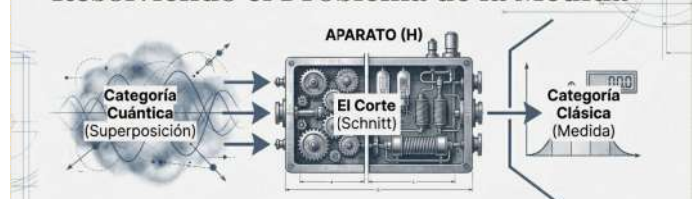
-La relación (¡temaria!) de causalidad $Y = f(X, H)$ no es una relación de dominio ilimitado. Si no hay cuerpos de por medio (los electrones no son bolas de billar, tampoco cuerpos minúsculos), no tiene por qué haber conexiones causales, de modo que «la disyuntiva entre el indeterminismo cuántico y el determinismo se disuelve» (Bueno 1999). Indeterminismo en sentido *privativo* o *negativo*.

-La causalidad aparece en MQ en conexión con la armadura H, es decir, con los aparatos, que sí son cuerpos y son "las cajas donde se manipulan las esencias cuánticas". Es en la interacción con ellos cuando se produce el colapso de la función de onda. El "corte" no es el observador o la conciencia (como conjeturaron Von Neumann, London, Bauer o Wigner; no así Bohr).

Tampoco hay muchos mundos, como cree el metafísico Everett. La clave es el referente fisicalista, el aparato, donde se pasa de la categoría cuántica a la categoría clásica.

-A los aparatos en física atómica y nuclear les ha ocurrido lo que al término medio del silogismo, que cae en el olvido tras ser empleado. En efecto, de igual manera que B desaparece en el silogismo « $A \rightarrow B$ y $B \rightarrow C$, ergo $A \rightarrow C$ », los aparatos han desaparecido en el *silogismo gnoseológico*: «Nosotros manejamos aparatos que, a su vez, manejan entes subatómicos; luego nosotros manejamos entes subatómicos»... y se olvida la imprescindible mediación de los aparatos ¡¡!

Resolviendo el Problema de la Medida



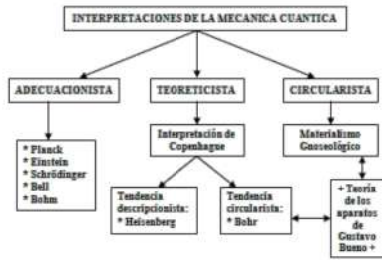
- El "Corte" no es la conciencia humana. Es el **aparato físico**.
- El aparato media entre el mundo cuántico y el clásico.

Causalidad: $Y = f(X, H)$

El aparato físico define el límite entre lo cuántico y lo clásico.

Para entender la física, debemos dejar de mirar las ecuaciones en aislamiento y mirar a los Contextos Determinantes: las máquinas y las operaciones.

Interpretaciones filosóficas de la MQ



Niels Bohr (1885-1962)

Físico danés, uno de los creadores de la teoría cuántica, laureado con el premio Nobel. Miembro de la Academia de Ciencias de la U.R.S.S. desde 1929. Terminó sus estudios en la Universidad de Copenhague, trabajó en el laboratorio de Rutherford en Manchester. Hasta 1913 creó el modelo del átomo de hidrógeno y formuló el principio de correspondencia. La particularidad distintiva de las concepciones de Bohr es su tendencia a dar una fundamentación gnoseológica a los problemas físicos concretos. Para interpretar la mecánica cuántica, espacio y desarrolló el principio de complementariedad, postulado en su base gnoseológica, principio que Bohr considera aplicable a los distintos estadios del conocimiento. Superando la influencia del positivismo, Bohr, en los últimos años, se aproximó mucho a la interpretación materialista de varios problemas de la mecánica cuántica y de la teoría del conocimiento. Al hacer hincapié en la importancia cada día mayor de los instrumentos de medida como medios de investigación y de formalismo matemático, como medios para la descripción adecuada de los microprocesos, Bohr señala que «la aplicación del sistema de conceptos proporciona los recursos apropiados... para ampliar la descripción objetiva (La física atómica y el conocimiento humano, 1961, págs. 48-50). El contenido objetivo de las investigaciones de Bohr confirma el carácter dialéctico del desarrollo de la naturaleza, así como la importancia que tiene para los naturalistas el dominio consciente del método de la dialéctica materialista.

Diccionario Filosófico - 1965-68-69

“Es esencial recordar que toda información inequívoca referente a objetos atómicos se obtiene a partir de marcas permanentes -tales como una mancha sobre una placa fotográfica, producida por el impacto de un electrón- dejadas sobre los cuerpos que definen las condiciones experimentales.”

Niels Bohr, *Física Atómica y Conocimiento Humano*, 1964, pág. 6.

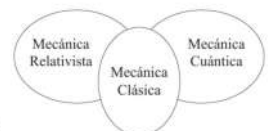
En palabras de Gustavo Bueno:

El desarrollo de las teorías cuánticas suscitó dificultades filosóficas que llevaban a muchos a considerar a estas teorías como «anticientíficas», en rigor, las «dificultades filosóficas» podían identificarse con las dificultades de admitir las tesis cuánticas desde la filosofía adecuacionista de la verdad de las teorías (ejemplo: la de Einstein). Pero puesto que las teorías cuánticas mostraban su efectividad científica, lo que propiamente se exigía debiera ser cambiar los supuestos adecuacionistas, es decir, cambiar la teoría de la ciencia por la que se regula el fundador de la física cuántica, Max Planck. Otra cosa es la dirección en que se haga este cambio de la teoría de la ciencia natural. La escuela de Copenhague creyó suficiente acogerse a formas de teorías convencionalistas o pragmatistas de la ciencia, considerando que el objetivo de la teoría física no es tanto conocer el mundo real -y esto quería decir: re-presentarlo adecuadamente- sino predecir los sucesos que puedan tener lugar dentro de nuestras coordenadas experimentales [...]. Para retirar la idea adecuacionista de la ciencia manteniendo una visión realista (pero materialista) de la misma, es preciso algo más que una crítica localizada (a la ciencia astronómica, a la física cuántica...), es preciso regresar más atrás de la idea misma de conocimiento y alcanzar una visión no representacionista (adecuacionista) del conocimiento científico. ([Buen2] págs. 1288 y 1293)

El sentido de mi interpretación es llamar la atención sobre la importancia de la interpretación gnoseológica de los aparatos. [...] El aparato actúa -en física cuántica- como una especie de demurgo, que convierte la potencia en acto. Pero si el aparato funciona como operador, entonces no hay que hablar de *actualización* sino que habría que decir simplemente que lo que hace el aparato es *transformar*. El aparato está transformando ciertas disposiciones de partes de la realidad en otras disposiciones como, por ejemplo, ciertas diferencias de potencial en corrientes eléctricas o en trayectorias de agujas. Lo que estamos viendo es una transformación, en la línea de la Escuela de Copenhague, pero sin dualismo de sujeto/objeto.

“Decir 'yo veo lo que ve el microscopio' es falso, lo que ves son las proyecciones electromagnéticas del microscopio a una escala visible de nuevo para ti. Lo que tú ves no es lo que está allí, sino la traducción de lo que allí hay [...] El problema es que la pretensión de los físicos es decir 'la realidad es eso' y no lo que vemos con los ojos [...] Y eso es lo que hay que discutir: la realidad no está más allá del mundo, está en este mundo”.

Gustavo Bueno en entrevista junto a Eduardo Úrculo, “Filosofía y pintura. Conversaciones en Valdediós”, en el dominical de *El Comercio* (25-II-1996, págs. 44-45).



NI VV.OO.
NI REDUCCIONISMO

Coda: MQ e hiperrealismo

La MQ aporta nuevos argumentos en pro del hiperrealismo (ni realismo ingenuo ni relativismo):

- Aparte de en el estudio del teorema de Pitágoras o de las elipses keplerianas, en la historia de la física de partículas se constata la dependencia que el zoo de partículas fundamentales tiene de los aparatos (no sólo de las teorías), de la energía que aquellos son capaces de alcanzar -por eso se habla de «física de altas energías»-, de modo que las laminaciones o exfoliaciones que vamos obteniendo dependen de la tecnología accesible, a la manera que las "junturas naturales" del cordero dependen no sólo de la materia cárnica sino también del instrumento de corte del carnicero (junturas categoriales).
- En consecuencia, el mundo cuántico se nos aparece como una hiperrealidad, como una ampliación de la realidad. Y es que, pese al realismo clásico, no puede decirse que el modelo estándar represente a las partículas elementales (al modo que decimos que una lámina botánica representa una planta); porque, al rebasarse la escala corpórea, no resulta factible chequear la correspondencia accediendo a los fermiones o bosones con independencia de la ciencia física (Bueno 1980).
- Además, como ya visto, sabemos que en MQ la posición o el momento de una partícula se generan en el momento de interacción con el aparato (cuando "colapsa" la función de onda).
- Productos que no son naturales (realismo) ni culturales (relativismo): condensado Bose-Einstein, láser, tecnecio, plutonio...

Hiperrealismo: La Realidad Aumentada



Analogía del Carnicero: Las "articulaciones" de la realidad dependen del cuchillo que usamos para cortar.

Física de Altas Energías: Pelamos la realidad según la potencia de nuestras máquinas.

Hiperrealidad: No solo descubrimos partículas; expandimos la realidad (Plutonio, Láseres) mediante la intervención instrumental.

