

Sobre los límites

Carlos Yannuzzi

a Pepa Medina, amiga y compañera de Las Nubes

I. Posmodernidad deslumbrada

El conocido como escándalo Sokal de 1996 o su libro *Imposturas intelectuales* de 1997 son suficiente muestra y crítica de la jerigonza posmoderna, y el retrato que de ella hace el físico norteamericano ha perdurado hasta nuestros días. Por ello, centro mi atención más en el asombro, en la reacción y en la reafirmación de autores como Lyotard, Derrida, Baudrillard o Deleuze a propósito de los trabajos de los teóricos cuánticos y concretamente de las posiciones sobre la incertidumbre que ha sostenido Hiesenberg.

Si consideramos in nuce el tema, se puede acotar que todo el principio de incertidumbre se resume en:

Podía hablarse de la posición y de la velocidad de un electrón, como en la mecánica de Newton, y podían observarse y medirse estas cantidad. Pero no podían fijarse ambas cantidades simultáneamente, con una exactitud arbitrariamente elevada. En realidad, el producto de estas dos inexactitudes resultó ser no menos que la constante de Planck dividida por la masa de la partícula. Relaciones similares podían formularse para otras situaciones experimentales. Usualmente se las llama relaciones de incertidumbre o principio de indeterminación (Heisenberg, 1959: 28).

Siguiendo a Víctor Gómez Pin, la fórmula matemática de este principio se enuncia de la siguiente manera:

$$\Delta A \cdot \Delta B \geq \frac{1}{2} \langle \psi | [A, B] | \psi \rangle \quad (\text{Gómez Pin, 2019: 562})$$

Esto es todo lo que abarca el *principio de incertidumbre*, he aquí su aportación a la física moderna y al conocimiento. ¿Cómo es posible, entonces, que la posmodernidad filosófica bebiera de esta fuente a la hora de reconstruir su horizonte de pensamiento? Lyotard en *La condición posmoderna* llega a decir que la teoría cuántica “obliga” a una revisión radical del concepto de verdad; Derrida en su *Los márgenes de la filosofía* afirmaba en el apartado «*Ousia* y Grama» que desde la física actual el tiempo no existe; Deleuze en *Lo actual y lo virtual* llega afirmar que “no hay objeto puramente actual” fundamentándose en este mismo principio. En definitiva, toda la posmodernidad se vale de la mecánica cuántica para erigirse ante la ciencia experimental y, en concreto, la física. ¿Pero qué hay de transgresor realmente en la mecánica cuántica?

Lo cierto es que el propio Heisenberg (quizás con ansias retóricas) afirma en varias ocasiones el papel radical de los descubrimientos de la mecánica cuántica y los postulados de la teoría de matrices:

es en la teoría del cuanto donde se han producido los cambios más fundamentales con respecto al concepto de realidad, y es en la forma final de

esta teoría cuántica donde las nuevas ideas de la física moderna se han concentrado y cristalizado. (Heisenberg, 1959: 16)

Incluso no escatima en comparaciones a la hora de vindicar la revolución copernicana que supone la mecánica cuántica comparándola a nivel técnico-experimental con los hallazgos de Huyghens, Volta y Faraday; y a nivel matemático con Newton y Gauss e insiste

el cambio en el concepto de realidad que se manifiesta en la teoría de los cuantos no es una simple continuación del pasado; parece ser una verdadera ruptura en la estructura de la ciencia moderna (Heisenberg, 1959: 17).

Veamos, entonces, cómo se desarrolla esta gran aportación a la historia del pensamiento y en particular a la descripción del mundo. Sólo así podremos establecer su conexión con la filosofía y el pensamiento posmoderno en particular.

II. La catástrofe ultravioleta

Todo comenzó con la catástrofe ultravioleta. Sin ponernos técnicos, lo conocido como “catástrofe ultravioleta” es un fallo en la teoría clásica del electromagnetismo; pero esto requiere un poco de historia.

Hacia 1865, James Clerk Maxwell publica su *A dynamical theory of the electromagnetic field*. La teoría ya parte de que la luz está hecha de campos eléctricos y magnéticos que se propagan por el espacio. La gran contribución de Maxwell a nivel teórico fue unificar cuatro leyes de grandes científicos: Ampère, Faraday y Lenz y las dos de Gauss. Estas leyes se pueden sintetizar en:

- Ley de campo eléctrico (Gauss) establece la relación entre el flujo de un campo eléctrico con la carga de una superficie cerrada. Es decir, explica la cantidad de fluido eléctrico que atraviesa una superficie cerrada, que según establece la fórmula de Gauss es proporcional a la cantidad de carga encerrada en la superficie.
- Ley de campo magnético (Gauss) sostiene que el flujo magnético de cualquier superficie cerrada es siempre cero. En apariencia, no parece explicativo, pero si imaginamos un imán, lo que explica esta ley es que al partir este imán, no tenemos dos cargas distintas, sino dos imanes.

Ambas leyes podrían explicar la diferencia entre un cable de corriente y un imán de nevera, si alguien no pudiera diferenciarlos más que por relación con la energía.

Las otras dos leyes son:

- Las leyes de inducción electromagnética, que se componen de la de ley de Faraday, por la que se relaciona el cambio de flujo magnético con la magnitud de la fuerza electromotriz inducida en una espira; y la ley de Lenz, que nos dice en qué dirección fluye la corriente y establece que es siempre contraria al cambio de flujo que la produce.
- La ley de Ampère formula la relación entre campo magnético inmóvil y corriente eléctrica que no varía en el tiempo, por la cual la circulación de un campo magnético a lo largo de una curva cerrada es igual a la densidad

de corriente sobre la superficie encerrada en la curva. En términos generales, la circulación de la intensidad del campo magnético en un contorno cerrado es igual a la suma algebraica de las corrientes encerradas o enlazadas por el contorno multiplicadas por la permeabilidad del espacio libre.

Pues bien, teniendo en cuenta estas leyes, y la unificación de Maxwell, Lord Rayleigh y sir James Jeans postularon por separado la radiación espectral de la radiación electromagnética de un cuerpo negro ideal (objeto que absorbe toda la luz y toda la energía radiante que incide sobre él), el cual en equilibrio de temperatura ambiente debía emitir energía en todos los rangos de frecuencia, de manera que a mayor frecuencia, mayor energía. Esto suponía que la cantidad de energía radiada en la suma de todas emisiones sería infinita. Sin embargo, sabemos que esto es falso: tanto en infrarrojos como en ultravioleta la densidad de la longitud de onda radiada tiende a cero. Al experimentar esto, se constató por vez primera que la física clásica no respondía a todos los fenómenos de la realidad.

Esta situación era tan excepcional y desconcertante para la físicos que, si bien la hipótesis correcta se había descubierto cinco años antes que sir Jeans postulara su fallida fórmula, su autor no pudo más que descartarla por constituir un cisma en la física clásica; se trataba de las ideas de Max Planck, que en diciembre de 1900 plantea la primera hipótesis sobre la cantidad discreta de energía que podía poseer un átomo radiante o lo que es lo mismo: la energía no se emite o absorbe de modo continuo, sino en forma de paquetes o *cuantos*.

Las contradicciones teóricas y los reparos históricos que podían aparecer en Planck no pueden ser objeto de estudio aquí y nada puede ser menos interesante. Lo cierto es que la hipótesis de Plank necesitó de mucha evidencia empírica de científicos como Becquerel, Curie, Rutherford o Sommerfeld. Pero en el campo de la física teórica, esta hipótesis abrió una gran vía de pensamiento. Tanto es así, que el 17 de marzo de 1905 Albert Einstein escribía «Sobre un punto de vista heurístico concerniente a la producción y transformación de la luz», que ataca el epicentro de los postulados de la física clásica. La teoría de Einstein en este breve artículo sostenían que:

“la propagación de un haz de luz desde un punto no se distribuye continuamente en espacios más y más crecientes, sino que el mismo consiste en un número finito de cuantos de energía localizados en puntos del espacio, los cuáles se mueven sin partirse y sólo pueden ser absorbidos o emitidos como un todo” (Einstein, 1905: 1)

Esta hipótesis no hacía más que ahondar en la revolucionaria idea de Pank, pero las consecuencias que esto suponía y, sobre todo, la información que carecía sobre el átomo era tal que tuvieron que pasar muchos años hasta que Rutherford en 1911 y Bohr en 1913 describieran uno el átomo y el otro su estabilidad. No obstante, las contradicciones y las interrogantes que esta nueva realidad planteaba no dejaba de crecer y el propio Heisenberg plantea alguna de estas:

¿Cómo puede ser que la misma radiación que produce interferencia, y que por lo tanto debe consistir en ondas, produzca también el efecto fotoeléctrico, y en

consecuencia deba consistir en partículas móviles? ¿Cómo es posible que la frecuencia del movimiento planetario del electrón en el átomo no se ponga de manifiesto en la frecuencia de la radiación emitida? ¿Significa esto que no existe tal movimiento planetario? [...] ¿qué le sucede a los electrones dentro del átomo? (Heisenberg, 1959: 22)

Como se puede ver, Heisenberg asume un gran número de cuestiones que a su juicio son fundamentales del corolario de los descubrimientos que en las difíciles primeras décadas del siglo XX se suscitaban en torno a las hipótesis del quantum. Pero no es hasta el verano de 1925 con el establecimiento de la mecánica de las matrices y las posteriores investigaciones de Born, Jordan y Dirac, que demostraron que las matrices de posición y cantidad de movimiento del electrón no pueden cambiarse, donde Heisenberg entiende que por fin hay una “esencial diferencia entre mecánica cuántica y mecánica clásica” (Heisenberg, 1959: 25).

III. La probabilidad

En enero de 1924 los físicos Bohr, Kramer y Slater publicaron en el *Philosophical Magazine* y en el *Zeitschrift für Physik* su artículo «The Quantum Theory of Radiation» se postulaba el concepto de “onda de probabilidad”, que más tarde el grupo de Copenhague sintetizaría en el concepto “función de onda”. El texto es bastante oscuro no solo para los que somos legos en la materia, también para muchos científicos que deben aproximarse a la teoría (y para los físicos de la época, de bien seguro también), pero allí se encapsula el primer salto teórico fundamental para constituir la esencia de la mecánica cuántica desde su punto de vista teórico. Al inicio de la segunda parte, donde los autores escriben su postulado, leemos:

We will assume that a given atom in a certain stationary state will communicate continually with other atoms through a time-spatial mechanism which is virtually equivalent with the field of radiation which on the classical theory would originate from the virtual harmonic oscillators corresponding with the various possible transitions to other stationary states. Further, we will assume that the occurrence of transition processes for the given atom itself, as well as for the other atoms with which it is in mutual communication, is connected with stationary states when illuminated by radiation

Asumiremos que un átomo dado en un determinado estado estacionario se comunicará continuamente con otros átomos a través de un mecanismo espacio-temporal que es prácticamente equivalente al campo de radiación que, según la teoría clásica, se originaría a partir de los osciladores armónicos virtuales correspondientes a las diversas transiciones a otros estados estacionarios. Además, asumiremos que la aparición de procesos de transición para el átomo dado en sí, así como para los otros átomos con los que está en comunicación mutua, está conectada con estados estacionarios cuando se ilumina con radiación. (Bohr, Kramer y Slater, 1924: 164)

La clave de este fragmento no es más que la conjugación “we will assume” y la utilización del verbo, que en sí mismo se descabalga de todo empirismo. Este fragmento no tiene carácter hipotético, sino de postulado. Dicho de otra manera, los autores no utilizan en sentido retórico expresiones como: asumir el estado

estacionario del átomo, la comunicación continua entre átomos, los osciladores armónicos, etc., no es un supuesto que luego demostrarán, por el contrario, admiten que lo presuponen como algo dado. No solo eso, hablar de un “virtual harmonic oscillator”, no debe llevarnos a un equívoco de un hablante del siglo XXI, donde *virtual* tiene que ver más con nuestra era digital, debemos entender la voz como “posible”, es decir, entender un “oscilador armónico posible”, donde posible tiene un sentido estadístico y de hecho, un hecho en potencia. Así, Heisenberg aclara: “era una versión cuantitativa del viejo concepto de *potentia* de la filosofía de Aristóteles” (Heisenberg, 1959: 27). Nada de esto a un filósofo, a un humanista en general diría, debería extrañar, pero no debemos olvidar que el tema sobre el que teorizan Bohr y compañía es la radiación lumínica, un hecho de la naturaleza que hasta ahora estaba determinado por los parámetros de causa-consecuencia, acto y reacción, por eso afirman con honestidad la problemática que esta perspectiva supone al respecto del fundamento de la física clásica...

together with other well-known paradoxes of the quantum theory, the latter difficulty has strengthened the doubt, expressed from various sides, whether the detailed interpretation of the interaction between matter and radiation can be given at all in terms of a causal description in space and time of the kind hitherto used for the interpretation of natural phenomena.

junto a otras paradojas bien conocidas de la teoría cuántica, las últimas dificultades han fortalecido la duda expresada desde varias ópticas, de si la interpretación pormenorizada de la interacción entre la materia y la radiación se puede dar en términos de una descripción causal en el espacio y el tiempo como las del tipo que se ha utilizado hasta ahora para la interpretación de los fenómenos naturales. (Bohr, Kramer y Slater, 1924: 164)

Y para su postulado más arriesgado, y que sostiene toda la teoría, admiten sin tapujos:

As regards the occurrence of transitions, which is the essential feature of the quantum theory, we abandon on the other hand any attempt at a causal connexion between the transitions in distant atoms, and especially a direct application of the principles of conservation of energy and momentum, so characteristic for the classical theories.

En cuanto a la aparición de transiciones, que es la característica esencial de la teoría cuántica, abandonamos cualquier intento de una conexión causal entre las transiciones con átomos distantes, y especialmente una aplicación directa de los principios de conservación de la energía y momentum, tan característico de las teorías clásicas. (Bohr, Kramer y Slater, 1924: 165)

El salto de paradigma de estos científicos no es fácil de transmitir en estas líneas, pero supone un avance en cuanto a medios y perspectivas, una ruptura tan abrupta de los principios rectores de su ciencia, quizás como lo fue para los geógrafos y astrónomos el descubrimiento de América o para los médicos moriscos las primeras autopsias.

Hasta ese momento, toda la física se había basado en una gran soltura teórica que debía ser corroborada, primero por cálculos matemáticos que sustentaran la teórica desde un punto de vista de las fuerzas a las que se ve sometido nuestro mundo, luego por experimentos o ensayos que verificaran que aquellos cálculos y sus pronósticos fueran acertados. El mundo se pensaba, posteriormente se calculaba y debía ser comprobado, o incluso al revés, a base de repetir experiencias ensayadas, poder extraer cálculos y de ellos una sólida teórica, como las fábulas cuentan a propósito de Newton y su acertada manzana. Por eso, cuando Bohr, Kramer y Slater se disponen a aceptar las limitaciones experimentales de su teoría sin al mismo tiempo descartarla o restarle utilidad o verdad (al menos una verdad *cæteris pãribus*) dan un verdadero paso de gigante sobre toda la física imperante durante trescientos años:

an atom which has contributed to the induction of a certain transition in a distant atom through the virtual radiation field conjugated with the virtual harmonic oscillator corresponding with one of the possible transitions to other stationary states, may nevertheless itself ultimately perform another of these transitions. At present there is unfortunately no experimental evidence at hand which allows to test these ideas, but it may be emphasized that the degree of independence of the transition processes assumed here would seem the only consistent way of describing the interaction between radiation and atoms by a theory involving probability considerations.

un átomo que ha contribuido a inducir cierta transición a un átomo distante a través de un campo de radiación virtual junto al oscilador armónico virtual, correspondiendo con una de las posibles transiciones a otros estados estacionarios, también puede, no obstante, realizar otra de estas transiciones. En la actualidad, desafortunadamente, no hay evidencia experimental disponible que permita probar estas ideas, pero debería remarcar que una teoría que incluya consideraciones probabilísticas parece ser la única manera consistente de describir, con el grado de independencia de los procesos de transición asumidos aquí, las interacciones entre radiación y átomos. (Bohr, Kramer y Slater, 1924: 166-167)

¿Pero qué habilita a estos tres físicos a dar tan drástico salto? Otra circunstancia que a ningún filósofo ha importado jamás, ni siquiera nunca ha debido suponernos un problema u obstáculo para nuestra evolución discursiva... ¡la técnica! La primera teoría sólida sobre la radiación del quantum se parapeta en la imposibilidad técnica de su época, asumiendo que de poder medir y observar el fenómeno que se supone, entonces, estas ideas quedarían demostradas empíricamente. Es lo más parecido a un acto de fe, a un cheque en blanco, con la promesa de un cobro en diferido, cuando la técnica lo permitiese:

At the present the experimental material at hand is hardly sufficient to test these considerations.

En la actualidad, el material experimental disponible es apenas suficiente para probar estas consideraciones. (Bohr, Kramer y Slater, 1924:169)

Lo cierto es que las ideas plasmadas en «The Quantum Theory of Radiation» no son un brindis al sol, ni meros postulados teóricos irrisorios, pocos años después fueron

acompañados del aparato matemático que los consolidaría, y muchos experimentos y razonamientos matemáticos habían acompañado a Kramer y Slater (y muchos otros) para poder plantear esta hipótesis, más que plausible, necesaria. Tanto es así, que la salvedad de la técnica viene a justificarse por la particular situación dual de la realidad que se estudia, pues si bien se podían medir ciertos aspectos del átomo, el doble comportamiento es lo que hace imposible de todo punto su observación directa, tal y como ellos mismos advierten en su preámbulo:

On the one hand, the phenomena of interference, on which the action of all optical instruments essentially depends, claim an aspect of continuity of the same character as that involved in the wave theory of light, especially developed on the basis of the laws of classical electrodynamics. On the other hand, the exchange of energy and momentum between matter and radiation, on which the observation of optical phenomena ultimately depends, claims essentially discontinuous features.

Por un lado, los fenómenos de interferencia, de los que depende esencialmente la acción de todos los instrumentos ópticos, reclaman un aspecto de continuidad del mismo carácter que el involucrado en la teoría ondulatoria de la luz, especialmente desarrollado sobre la base de las leyes de la electrodinámica clásica. Por otro lado, el intercambio de energía y momentum entre la materia y la radiación, del cual depende en última instancia la observación de los fenómenos ópticos, reclama características esencialmente discontinuas. (Bohr, Kramer y Slater, 1924: 159)

La misma característica, por tanto, que sirvió a Heisenberg para desarrollar su principio de incertidumbre tal y como hemos visto al inicio de este texto. Y que por poner un ejemplo, es como si en un plano secuencia el espectador quisiera ver el movimiento del soldado corriendo por el campo de batalla y a la vez, la foto fija de cada segundo de esa secuencia; hoy por hoy, sin dividir la pantalla en diversas subpantallas o superponer imágenes, el cine no está provisto de tales medios, pero nadie duda que en un plano secuencia hay al mismo tiempo instantes que podrían ser observados como una fotografía fija.

Todo este camino, creado y desarrollado en apenas cuarenta años supone una importante revolución teórica, por supuesto, pero también reflexiva para la física, donde se ponen en duda sus propios principios, sus autoridades y, por encima de todo, efectivamente, su propia noción del concepto “realidad”, al que le vienen acompañados un sinfín de términos asociados, como el de “hecho”, “medir”, “acto”, “probabilidad”, todas nociones existentes en la física clásica, pero aplicadas al contexto de incertidumbre adquieren un cariz especial.

Parece mentira que todo sea desencadenado por una limitación técnica, que obliga a escribir “una función de probabilidad”, en vez de una función que determine velocidad y posición; función de probabilidad que debe incluir también los probables “errores de medida” (Heisenberg, 1959: 31). Así cobra sentido la trepidante evolución técnica a la que nos hemos abocado en la siguiente centuria, donde la tecnología ha sido el rector de nuestra vida en multitud de aspectos y en donde hemos confiado el signo de los días y el sentido de toda lógica sobre la realidad, como si de otra paradoja se tratara, así el simulacro de la tecnología emerge como aquello más real que lo real. Sólo la

tecnología parece poder acabar de cerrar el círculo de la explicación del mundo y con ella todas nuestras esperanzas...

IV. Física y filosofía

Hasta aquí, hemos podido repasar la evolución teórica de la mecánica cuántica y sus aportaciones al concepto de *realidad*. Lo cierto es que la física, a principios de siglo XX aprendió una gran lección de la filosofía, pero no de la de su tiempo, ni Husserl, Bergson o Bataille, por poner unos ejemplos fueron faros y guías de las mentes científicas, la influencia cabal vino de la filosofía clásica y de los denominados presocráticos: Anaximandro y su sustancia primera, Heráclito y su idea de cambio, Parménides y sus paradojas, quizás la primera fórmula del principio de incertidumbre. Pero si alguna aportación a la mecánica cuántica debe recibir una mención especial es la de Demócrito (como ya reseña Heisenberg). Y nada desdeñable es la interpretación de la duda cartesiana y la división del conocimiento kantiano para habilitar a la física teórica a ir más allá.

Por todo esto, parece ridículo que los filósofos posteriores incidieran en los resultados de la teoría de la mecánica de matrices; y que esta fuera a ser punto de partida de cualquier pensamiento filosófico posterior, cuando el movimiento de la ciencia experimental era justamente la de ir a buscar en la primera filosofía la hipótesis de su pensamiento.

Observando el razonamiento de Heisenberg sobre la problemática que le llevó a desarrollar su principio de incertidumbre podemos comprender que su disyuntiva es la propia de alguien que ha trabajado sobre la base del cálculo y su relación causal con la naturaleza y viceversa, que se azora por tener que asumir la imposibilidad de probar esta relación, aunque sea por cuestiones técnicas. Consideremos este fragmento:

La transición de lo “posible”, a lo que está “en acto”, se produce en el momento de la observación. Si queremos describir lo que sucede en un acontecimiento atómico, debemos comprender que el término “sucede” sólo puede aplicarse a la observación, no al estado de cosas entre dos observaciones. Se aplica al acto físico (no al psíquico) de la observación, y podemos decir que la transición entre la “potencia” y el “acto” tiene lugar tan pronto como se produce la interacción entre el objeto y el instrumento de medida, y, con ello, el resto del mundo; no se relaciona con el acto de registrar el resultado en la mente del observador. El cambio discontinuo en la función de probabilidad se produce, sin embargo, con el acto de este registrarse en la mente, porque es el cambio discontinuo de nuestro conocimiento el que tiene su imagen en el cambio discontinuo de la función de probabilidad.
(Heisenberg, 1959: 39).

¿Qué sorpresa supondría esto para Aristóteles? ¿O para los estoicos? ¿Qué problemas plantearía las posturas sobre la causalidad a Hume y los empiristas ingleses? Ninguna, desde luego. Parece como si toda la filosofía de Tales a Nietzsche hubiera estado más preparada a comprender las grandes consideraciones de la mecánica cuántica, que los posmodernos (aun siendo conocedores de la tradición filosófica y de los nuevos descubrimientos de la física); parece como si no hubiesen sabido digerir bien los hallazgos últimos.

La mecánica cuántica no sirve, como hemos visto en su desglose anterior, para enmendar la plana a todo el conocimiento empírico. El mundo se puede describir en gran medida sin ninguna referencia a nosotros mismos. Que la física clásica no responde a la explicación de toda la realidad, que la cuántica no pueda resolver técnicamente sus postulados, serán problemas que los científicos experimentales deban resolver (como están haciendo) en la era de la técnica y en los años venideros. Su enseñanza no modifica ni un ápice el valor de verdad de la tradición filosófica, al contrario, aquel que desee ampliar por el camino de la ciencia experimental los términos de la filosofía (quizás por complejo, quizás por ignorancia de la propia tradición) se verá reflejado en las críticas y burlas de demagogos como Sokal. Los argumentos de la posmodernidad sobre la teoría del conocimiento, la caída de la verdad o el ascenso del subjetivismo no son más que una mala interpretación (innecesaria) de la vanguardia del pensamiento de la época: “la verdad es que la teoría cuántica no contiene rasgos genuinamente subjetivos; no introduce la mente del físico como una parte del acontecimiento atómico” (Heisenberg, 1959: 40). Los físicos de aquellos años se encontraron en una paradoja al intentar describir su experiencia con las reglas y leyes de la física clásica. Lo que la filosofía posmoderna no supo ver es que esa paradoja no habilitaba a la filosofía a manipular las reglas de la física clásica, sino que se limitaba el campo de aplicación de estas condiciones newtonianas. Mientras la física volvía la mirada a la tradición filosófica, la posmodernidad la volvía sobre sí misma, como si las limitaciones de la nueva física fuera un buen argumento para igualar por la mínima la labor teórica de los pensadores. Nada nos hemos perdido los filósofos en la *Many-Worlds Interpretation*, nada que un obispo Berkeley o la *Doctrina de la ciencia* y el mismísimo Platón hayan merodeado ya. No es una cuestión de límites lo que la mecánica cuántica traza en nuestro horizonte de pensamiento, sino una lección de humildad para los científicos y una lección de tradición para los posmodernos.

Barcelona, 17 de marzo de 2020

V. Referencias bibliográficas

Bohr, N., Kramers, H.A., Slater, J.C., 1924. The quantum theory of radiation. Copenhague. Consultado el 11 de marzo de 2020

[http://hermes.ffn.ub.es/luisnavarro/nuevo_maletin/BKS%20\(1924\).pdf](http://hermes.ffn.ub.es/luisnavarro/nuevo_maletin/BKS%20(1924).pdf)

Einstein, A., 1905. Sobre un punto de vista heurístico concerniente a la producción y transformación de la luz . *Annalen der Physik* 17, pp. 132-148, Berna. Consultado el 11 de marzo de 2020 en http://www.relatividad.org/ef_fotoel_einst_heuristico.pdf

Gómez Pin, V., 2019. *Tras la física. Arranque jónico y renacer cuántico de la filosofía*. Abada Editores, Madrid.

Heisenberg, W., 1959. *Física y filosofía*. Ediciones La Isla, Buenos aires.