

El infinito cuántico y relativista. Hacia una revisión de Planck y Einstein después de Bell. (A través de Heisenberg, De Fineti, Ulam y Neumann, Chandrasekhar, Hawking y Penrose).

Carlos Ortiz de Landázuri

Universidad de Navarra

Reception date / Fecha de recepción: 31-03-2009
Acceptation date / Fecha de aceptación: 06-05-2009

Resumen

Planck concibió el *infinito* desde una absoluta *indeterminación cuántica* y Einstein desde una *complementariedad relativista*, a partir de 1900 y 1906 respectivamente. Sin embargo la noción de *infinito* a partir de 1920 se acabó fragmentando en diversos subtipos, debido a las numerosas *prolongaciones, reinterpretaciones y transformaciones* que experimentó, según se conceptualizara desde la noción de *probabilidad bayesiana*, desde las nuevas *tecnologías astrofísicas*, desde la *teoría de torsiones* y por referencia a *variables ocultas ilocalizables*, como hicieron notar Heisenberg, De Fineti, Ulam y Neumann, Chandrasekhar, Hawking, Penrose y Bell.

Palabras clave: infinito cuántico, infinito relativista, Heisenberg, De Fineti, Ulam y Neumann, Chandrasekhar, Hawking, Penrose, Bell.

Abstract. *The quantum and relativist infinite. Towards a revision of Planck and Einstein after Bell. (Across Heisenberg, De Fineti, Ulam y Neumann, Chandrasekhar, Hawking y Penrose).*

Planck conceived the infinite from an absolute *quantum indeterminism* while Einstein did it from a *relativist complementariness*, from 1900 and 1906 respectively. Nevertheless, from 1920 on, the notion of *infinite* ended up fragmented in diverse subtypes, due to the numerous *prolongations, reinterpretations and transformations* that it experienced, conceptualized as it was from the notion of *Bayesian probability*, from the new *astrophysics technologies*, from the *theory of twists* and for reference to *secret non-local variables*, as Planck, Einstein, Heisenberg, De Fineti, Ulam y Neumann, Chandrasekhar, Hawking, Penrose and Bell had already pointed out.

Key Words: quantum infinite, relativist infinite, Heisenberg, De Fineti, Ulam y Neumann, Chandrasekhar, Hawking, Penrose y Bell.

1. Las censuras cósmicas respecto del infinito en Planck y Einstein.

En 1998, Elena Castellani, en ‘*Cuerpos interpretados. Los objetos clásicos y cuánticos en la física moderna*’ (Castellani, 1998), ha recopilado las principales aportaciones de la *mecánica cuántica y relativista* a lo largo del siglo XX (Rosenberg, 2000), a pesar de que sus derivaciones posteriores todavía no han concluido (Rothlein, 1998). Se analizan así el modo como la física actual aborda problemas decisivos para su propia justificación metodológica (Fraasen, 2008), como son las nociones de ‘*constitución*’, ‘*identidad*’ e ‘*individualidad*’, tanto desde un punto de vista *cuántico* como *relativista*, aunque sin confundir en ningún caso ambos planteamientos del problema (Monton, 2007). Como se sabe el descubrimiento de los ‘*cuantos*’ *mínimos* de energía por parte de Planck trajo consigo un reconocimiento de una *censura cósmica* respecto de todo el ámbito de lo *subcuántico*, suponiendo una ruptura radical con algunas nociones básicas de la física newtoniana o aristotélica, como fueron la noción de tiempo y espacio absoluto o con la noción de la *infinita divisibilidad* de cualquier medición. Por su parte Einstein intentó resolver este problema de las mediciones *micro-* o *macrofísicas* de un modo relativamente sencillo (McQuillan, 2000): tomó la *velocidad de la luz* como término de referencia absoluto en cualquier medición, aunque ello supusiera introducir una nueva *censura cósmica* respecto del ámbito específico de lo *ultraluminoso*, incluido ahora también la propia noción del *infinito* (Fölsing, 1996).

Evidentemente este tipo de *censuras cósmicas* fueron muy revolucionarias, pero desde un principio se presentaron con la pretensión de ofrecer una alternativa menos traumática que su contraria, a pesar de exigir una revisión a fondo de las nociones más básicas hasta entonces dadas por válidas (Callender, 2000). En este sentido Planck siempre mantuvo el carácter meramente *físico* de la *indivisibilidad* ahora asignada a los *cuantos de energía*, sin considerar por ello obsoleto el problema *metafísico* o *matemático* de la *infinita divisibilidad* del espacio y del tiempo (Lara Garrido, 2008). Por su parte Einstein siempre defendió una *noción unitaria* de teoría física, donde se debería englobar tanto el *macro* como el *microcosmos*, lo *infraluminoso* y lo *ultraluminoso*, al modo como anteriormente también había ocurrido en los grandes teóricos de este saber, en concreto en Newton (Morrison, 2000). Sin embargo ahora también se comprueba como estableció una tajante separación entre el *infinito* absolutamente inalcanzable, lo *ilimitado* físicamente incuantificable y lo simplemente medible en un número *finito* de pasos físicos, sin terminar de dar a cada una de las nociones de *infinito* un tratamiento especulativo adecuado (Ohanian, 2008). En cualquier caso la *censura cósmica* que la *mecánica cuántica* estableció respecto del ámbito *subcuántico*, y que la teoría de la *relatividad* mantuvo respecto de lo *ultraluminoso*, se situó más bien en el plano *práctico*, sin afectar al tratamiento *teórico* de este tipo de nociones (Nortmann, 2008).

En cualquier caso Einstein siempre pensó que las formulaciones de Planck y sus seguidores acerca de la *mecánica cuántica* adolecían un *déficit teórico* muy acusado, que

limitaba la resolución de los problemas que estas mismas teorías habían planteado, a diferencia de lo que ocurría con la *teoría de la relatividad* (Fischer, 1999). Por eso Einstein siempre consideró las propuestas *relativistas* especulativamente superiores a las *cuánticas*, al menos respecto de sus pretensiones teóricas (Ward, 2008). Sin embargo la *teoría de la relatividad* siempre adoleció de un *déficit metodológico* de tipo *observacional* (Kox, 2005). Por el contrario la *mecánica cuántica* vería confirmada una gran parte de sus anticipaciones más arriesgadas, a pesar de la aparente debilidad de sus propuestas teóricas (Howard, 2000).

De todos modos este doble *déficit observacional* y a la vez *especulativo* de las teorías *relativistas* y *cuánticas* se hicieron más evidentes con la formulación del *principio de indeterminación* de Heisenberg, con la aparición de la así llamada *paradoja del gato* de Schrödinger, o con la comprobación del *principio de no localización* de Bell (Maudlin, 1994). En todos estos casos la teoría *relativista* demostró una incapacidad manifiesta para resolver los enigmas que ya para entonces la *mecánica cuántica* había dado un enfoque *observacional* mucho más satisfactorio, a pesar de seguir asignándole una mejor justificación racional y una mayor potencia explicativa de aquellas mismas situaciones *observacionales*. A este respecto la teoría *relativista* siguió defendiendo una actitud epistemológicamente *realista* respecto del pretendido significado objetivo de sus nociones más básicas (Koslicki, 2008).

En cambio la *mecánica cuántica* siguió manteniendo el carácter *observacionalmente* más preciso respecto de sus mediciones de tipo estadístico, aunque siguió manteniendo un *indeterminismo* cada vez más escéptico respecto de su capacidad de otorgarles un posible significado teórico (Kuhn, 1999). La teoría *cuántica* hizo suya la efectiva verificación *observacional* del principio de indeterminación de Heisenberg, viéndola como una confirmación de la *censura cósmica* que ella misma había anteriormente ya establecido sobre el ámbito de lo *sub-cuántico*, sin que ello fuera un obstáculo para demostrarse más resolutiva a la hora de formular propuestas concretas. Por su parte la teoría del '*campo unificado*' de Einstein siguió postulando el viejo '*sueño*' de una teoría física omniabarcante respecto del *micro* y del *macrocosmos*, atribuyéndose una mayor potencia explicativa a la hora de justificar este tipo de modelos, sin que a este respecto fuera un obstáculo la *censura cósmica* que anteriormente ella misma había establecido respecto de lo *ultraluminoso* (Vernaas, 2000).

Castellani recoge a este respecto los pasos más decisivos de la historia de este problema '*filosófico*', que a la larga fue decisivo para abordar el problema de la *fundamentación de las teorías físicas cuánticas y relativistas* desde distintas perspectivas *ontológicas* (Gerhardt, 2000). En su opinión, es inútil pretender eludir el problema considerando las partículas elementales como '*casos límite especiales*', que constituyen una excepción a la norma general de la *censura cósmica* de tipo *subcuántico* o *ultraluminoso* (Dorato, 2006). En su lugar más bien se deberían considerar dentro de estos supuestos, tanto los niveles *subcuánticos* de probabilidad como la localización de un fotón ultraluminoso, como de hecho acabará

ocurriendo en los casos de Neumann o Bell (Neffe, 2006). Hasta el punto que ahora se pretende dar una solución al problema de la no-localización, la indeterminación, la probabilidad y, finalmente, la distorsionabilidad, con que aparecen este tipo de objetos cuánticos y relativistas (Popper, 1992, Mahan, 2009).

En este sentido se señalan *tres problemas* básicos de la *física relativista y cuántica* del siglo XX (French, 2006): 1) El problema de la *constitución individual*, que es consustancial a todo conglomerado material que a su vez establece una relación de *vaguedad* entre el todo y la parte; 2) El problema de la *identificación de los objetos físicos*, a través de propiedades *singulares* que permanecen *invariables* a través de distintas transformaciones, o grupos de transformaciones (Thirring, 2007); 3) Por último, el problema de la *medición* de unos objetos cuánticos, que están radicalmente alterados por los propios instrumentos de medida, dando lugar a un problema de *no-locación* (Gribbin, 1996). Según Castellani, todos estos problemas se pueden resolver. De todos modos surge el interrogante: ¿Se podría haber evitado esta crisis de la *microfísica de partículas* de haber dispuesto de unas *nociónes ontológicas* más adecuadas a la peculiar realidad que estaban describiendo (Newth, 1998)?

2. El impacto de la crisis indeterminista en el infinito cuántico y relativista.

Butterfiel y Pagonis, en '*De la física a la filosofía*' (Butterfiel, 1999), han recogido un conjunto de colaboraciones en las que se trata de describir el estado actual de una polémica acerca del *indeterminismo cuántico y relativista* de cara al nuevo milenio. En efecto, la formulación del *principio de indeterminación* de Heisenberg en 1927 puso de manifiesto las numerosas lagunas e insuficiencias de las que adolece la *microfísica de partículas*, tanto en su versión *cuántica y relativista*, por un mismo motivo; en ambos casos no se conceptualizó de un modo teóricamente correcto lo procesos físicos subyacentes a su respectiva medición experimental, ya fueran de naturaleza *sub-cuántica* o *ultraluminosa*. Einstein admitió ya entonces la pertinencia de este tipo de críticas en el ámbito de la *física cuántica*, aunque pensó que no era el caso de la teoría de la *relatividad* dada su mucha mayor potencia explicativa de este tipo de situaciones límite. Por eso Einstein nunca renunció a la posibilidad de extrapolar el concepto relativista de *medida física* al ámbito *sub-cuántico*, a pesar de que en este caso el análisis *sub-cuántico* de la luz había caído bajo *censura cósmica*, sin poder ser usado como instrumento de medida respecto de este tipo de fenómenos, al igual que antes había postulado respecto del *macrocosmos*. De todos modos Einstein nunca se desdijo de sus *postulados programáticos*. En su opinión, una teoría del *campo unificado* hubiera permitido formalizar matemáticamente este tipo de problemas *sub-cuánticos*, a pesar de sus indudables carencias de tipo observacional (Rowe, 2007).

Por su parte la *física cuántica* tuvo que reconocer la *no-localización* de los *balbuceos* de Bell, sin poder ya eludir el así llamado problema teórico de la *no-localización cuántica* y mucho más *subcuántica* – es decir, de la imposibilidad física de fijar simultáneamente la

posición y la velocidad de una partícula elemental-, a pesar de sus indudables aportaciones de tipo *observacional* que ello suponía (Diressen, 1997). Además, los posteriores desarrollos del *indeterminismo cuántico* sólo habrían servido para constatar una vez más la imposibilidad de evitar la interferencia de este tipo de condicionantes físicos observacionales, aunque con una diferencia; se habría comprobado como la *física cuántica*, a pesar de su indudable *déficit teórico*, fue capaz de desarrollar un marco teórico conceptual diferenciado, admitiendo incluso una posible *complementariedad* con los planteamientos relativistas (Bohn, 1997). En cualquier caso la *teoría de la relatividad*, a pesar de su mayor potencia explicativa, tampoco habría logrado dar una respuesta teórica adecuada a los numerosos enigmas que el *indeterminismo cuántico* planteó hace 70 años, sin que por ello tampoco se debería sentir derrotada (Sorensen, 1998).

Por su parte, Jan Von Plato, en *Forjadores de la probabilidad moderna* (Plato, 1994), ha analizado el impacto de la teoría moderna de la probabilidad en la crisis del *indeterminismo cuántico* y de la pretendida mayor potencia explicativa de la *teoría de la relatividad* (Popper, 1998). El. En su opinión, entre 1919 y 1933 se abrió paso en Bernouille un nuevo tipo de *probabilidad estadística*, netamente diferenciado del concepto clásico de probabilidad epistémica. La génesis de este concepto coincidió con la así llamada “*edad de oro*” de la ciencia europea, en donde los planteamientos lógicos y matemáticos influyeron decisivamente en el desarrollo de la *física cuántica indeterminista*, o de la propia *teoría de la relatividad*, ayudada en ambos casos con los nuevos avances de la teoría de la probabilidad. A partir de entonces la *probabilidad* dejó de indicar una mera referencia a los “*grados de ignorancia*” o de opinión, al modo exigido por la interpretación determinista de la física clásica. En su lugar la *física cuántica* o *indeterminista* reconocieron el carácter aleatorio y probabilista de numerosos fenómenos físicos, llegándose a hablar de niveles de *probabilidad sub-cuánticos* o *ultraluminosos*, a pesar de tratarse de supuestos meramente especulativos o *contrafácticos*, radicalmente contrarios a los presupuestos programáticos de sus respectivas teorías. A este respecto se dieron lugar a tres posibles enfoques, internamente complementarios: el punto de vista *frecuencial* u objetivista de von Misses, la fundamentación *teórica* de Kolmogorov, y el estrictamente *bayesiano* o subjetivista de De Finetti (Newton-Smith, 2000).

En este sentido siempre se deja abierto un interrogante: ¿Son realmente compatibles estas distintas nociones de la *probabilidad*, ya sean *sub-cuánticas* o *ultraluminosas*, con el tipo de *censura cósmica* introducida por Planck o por Einstein?. A este respecto la investigación plantea un problema central de la teoría de la probabilidad, que anteriormente también había sido indicado por Mark Kaplan (Kaplan, 1996), o aún más enérgicamente aún por James Logue (Logue, 1995). Se suele señalar a este respecto que la crisis del probabilismo pudo generar a su vez una *crisis de la mecánica cuántica* o de la *teoría de la relatividad* aún mayor. Sin embargo cabe plantearse: En realidad, ¿se deben tomar estas teorías de la *probabilidad* como el *fundamento último* de la *física cuántica y relativista*, incluyendo también la referencia que en cada caso se hace a una noción de *infinito* actual y potencial?

O no se debería más bien, ¿remitir esta nociones básicas y sus referencias al infinito a una previa metafísica u ontología de sus correspondientes objetos físicos? O en el caso de rechazar esta misma posibilidad, ¿no se deberían tomar estas referencias al *infinito subcuántico o ultraluminoso*, como un simple *complemento* necesario, o como un simple modelo envolvente, en el ámbito más específico del *micro-* o del *macrocosmos*? (Giere, 1999).

3. La génesis de una nueva subcultura tecnológica, cuántica y relativista.

Peter Galison, en *Imagen y lógica. Una cultura material de la microfísica* (Galison, 1997), ha comprobado como la crisis de la *microfísica de partículas elementales*, ya sea en su versión *cuántica* o *relativista*, también tuvo un impacto muy directo en el desarrollo de las altas *tecnologías astrofísicas*. La propia crisis del *mundo microfísico* exigió suplir las deficiencias de tipo teórico u observacional, mediante la incorporación de los *avances técnicos* más sofisticados de la teoría de la probabilidad, de la ciencia informática, de los sistemas expertos o de la simulación virtual (Melia, 2009). Sólo así la *cultura tecnológica* podría traspasar la estricta *censura cósmica* que previamente habían establecido la mecánica cuántica y la teoría de la relatividad, haciendo visible e imaginable, lo que no otro modo hubiera sido imposible de observar o entender. Incluso se recurrió a las así llamadas *máquinas postmodernas* para lograr una posible *representación virtual* de procesos discontinuos o simplemente distorsionados, o su ulterior reinterpretación desde otros presupuestos teóricos complementarios al primero. La aplicación de la lógica matemática a los ordenadores reforzó las técnicas tradicionales de la investigación experimental, y permitió el descubrimiento de distintas fuentes de energía básica de suyo inobservables en condiciones ordinarias. De este modo los *instrumentos* de observación fueron un factor decisivo de la *revolución científica* del siglo XX y hoy día ya constituyen el *substrato material de la presente cultura científica*.

Según Galison, el hallazgo de las nuevas *tecnologías observacionales e interpretativas* fue una consecuencia directa de la formulación del *principio de indeterminación* de Heisenberg, que a su vez terminó afectando por igual a los modelos cuánticos y relativistas (Rose, 1998). Su formulación marcó la evolución de la metodología científica del siglo XX, desde Carnap, Hempel y Oppenheim, o Toulmin, hasta Quine, Kuhn, Lakatos y Suppe (Lakatos, 1999). A partir de entonces se aceptó que las teorías científicas se *somatizan* a través de unos instrumentos de observación muy concretos, generando a su vez unos “*a priori*” *antropológicos* propios de esta peculiar *cultura tecnológica*, incluyendo ahora también la propia noción de *infinito cuántico y relativista*, y sus correspondientes *censuras cósmicas sub-cuánticas y ultra-luminosas*. Por su parte, la cultura tecnológica se habría ido haciendo cada vez más sofisticada, dando lugar a una auténtica *transformación* en el modo de concebir los *aprioris* kantianos, pasando a concebirlos como auténticos ‘*a priori*’ culturales, o estrictamente tecnológicos, al modo como según Köhnke ya empezó a ocurrir a lo largo del siglo XIX. En estos casos la investigación experimental no se dejó llevar por la

“*pura teoría*” *relativista*, ni tampoco por “*puras observaciones*” *cuánticas*, sino por una mutua complementariedad entre ambas (Köhnke, 1993).

Este cambio metodológico ya no se debe a una simple ampliación de los criterios experimentales, o simplemente teóricos y lingüísticos, como pretendieron respectivamente los planteamientos positivistas y antipositivistas. Más bien se debe al hallazgo de un nivel estrictamente técnico de observaciones experimentales que forman un *cuerpo* de conocimientos con una peculiar autonomía respecto de otros niveles teóricos y observacionales complementarios. Por ello cada uno de estos instrumentos de medida genera una especie de *subcultura quasi-autónoma*, aunque esta independencia nunca sea verdaderamente completa. Sin embargo, Galison deja sin contestar una pregunta decisiva (Ternisien, 2005): ¿Se podrían haber construido este tipo de *tecnologías astrofísicas* y las *subculturas cuánticas y relativistas* subsiguientes, siguiendo a su vez criterios meramente *científicas*, al modo por ejemplo de Reichenbach? (Poser, 1999). En este sentido la polémica que mantuvieron Penrose y Hawking puede ser un ejemplo muy ilustrativo de la importancia que a este respecto tienen las *teorías físicas* (McKeon, 1999).

4. Penrose, 1998: El infinito cuántico y relativista de los colapsos gravitacionales de Hawking.

En una obra colectiva dedicada a Penrose con motivo de su 60 cumpleaños, *La geometría del universo*’ (Huggett, 1998) varios de sus seguidores analizan el posible impacto que los desarrollos posteriores de las matemáticas (Trudeau, 1999), de la teoría de la probabilidad, o de las propias tecnologías astrofísicas, tuvieron tanto en la física cuántica como en la propia *teoría de la relatividad* (Sandbothe, 1998). En este sentido ambas teorías tropezaron con grandes dificultades *internas*, que ya no procedían solamente del ámbito del *microcosmos sub-cuántico*, sino también de la nueva visión *ultraluminosa* del Cosmos ofrecida por las nuevas *tecnologías astrofísicas*. Especialmente cuando Chandrasekhar descubrió la paradoja de las ‘*enanas blancas*’; es decir, el hallazgo de unas estrellas de tamaño aparente relativamente pequeño, pero cuya densidad tampoco puede superar un determinado límite, sin generar un proceso de inversión, o de *colapso*, donde la energía luminosa es incapaz de contrarrestar la fuerza gravitatoria, o de atracción hacia el propio interior de la estrella (Thorne, 1995). En estos casos aparece una nueva *singularidad* física, los así llamados *agujeros negros*, donde se produce una sistemática *ocultación de información*, debido a una peculiar interacción que se produce entre las formas básicas de energía, dando lugar a un auténtico *colapso gravitacional* (Srinivasan, 1999).

En este sentido Stefan Hawking, en *Historia del tiempo* (Hawking, 1989), propuso una revisión de algunos presupuestos relativistas (Hoeppe, 2007). Por un lado hizo notar como los *agujeros negros* introducen en las mediciones físicas un factor de *incommensuración*, debido a la imposibilidad de establecer una posible correlación entre el lado interno y

externo de dicho *sistema relativista* (Zimmermann, 1998). En su opinión, el *agujero negro* introduce una segunda *censura cósmica* de naturaleza *ultra-gravitacional*, diferente de la anterior *censura ultraluminosa* ya señalada por Einstein, aunque en ambos casos se trate de un impedimento absoluto de la recuperación de un tipo de información luminosa transmitida en condiciones de normalidad (Kennefick, 2007). Además, Hawking localizó la así llamada *paradoja de la censura cósmica*, al generalizarla para otros casos similares, en concreto a la interpretación del Big Bang, o *gran explosión* inicial postulada por la teoría generalizada de la relatividad de Einstein (Mainzer, 2000). Por su parte Hawking hace notar como el aumento desmedido de densidad gravitacional al intentar retrotraerse hasta un momento inicial de velocidad cero, impide alcanzar una efectiva comprobación de la interpretación creacionista del '*Big-bang*', como habría pretendido Einstein, aunque tampoco se pueda ir más allá de esta situación de auténtico *colapso gravitacional*. Finalmente, Penrose vuelve a la propuesta inicial de Einstein, admitiendo una posible inversión de la paradoja del *colapso gravitacional*, al menos en la forma propuesta por Chandrasekhar y Hawking (Wald, 1999).

Para justificar su propuesta Roger Penrose concibió el *continuo espacio-temporal* como un volumen dinámico de cuatro dimensiones (Laugwitz, 1999). Por su parte las diferentes dimensiones de medida se conciben al modo de diversas '*torsiones*' o '*giros*' volumétricos referidos a simples *singularidades físicas* (Penrose, 1986). Se concibe así la luz como un *campo de fuerzas de torsión cero* dentro de un *campo de fuerzas* interactivas aún más amplias, que a su vez dan lugar a otros fenómenos de *reforzamiento electromagnético* con diversos *gradientes dimensionales* o por el contrario de *colapso gravitacional*, como ocurre en los '*agujeros negros*' (Waloschek, 1998). Pero a pesar de estar de acuerdo en el planteamiento del problema, sin embargo Penrose rechaza ahora la anterior interpretación de Hawking. En efecto, la localización de un *agujero negro* exige admitir un presupuesto previo, que permita saber lo que ocurre en su interior, a saber (Wright, 2008): reconstruir las condiciones iniciales que hicieron posible ese colapso gravitacional, mediante un procedimiento de '*reducción objetiva*' (OR), que sólo tiene en cuenta el papel desempeñado por los ya mencionados *gradientes dimensionales*. Sólo así la falta de información se puede tomar como un tipo privilegiado de información respecto de las condiciones iniciales que deben haber confluido para que dicho colapso se haya producido (Goenner, 1998).

5. El paso hacia un infinito neurofisiológico a partir de la teoría de torsiones.

Hawking siempre fue muy crítico con las propuestas de Penrose. En su opinión, su único mérito es pretender rehabilitar un modelo de *teoría general del campo unificado* que ya en vida de Einstein había quedado obsoleta. Sin embargo Penrose se ha reafirmado en sus planteamientos iniciales (Penrose, 1999). Por ello en '*La nueva mente del emperador*' sugirió una posible extrapolación de la '*teoría de torsiones*' no sólo al infinito relativista, sino

dando un paso más, al plano de las relaciones *mente-cerebro*. En su opinión, el fundamento físico de los procesos mentales se remite a un substrato cerebral de tipo *neurológico*, donde esta capacidad de ‘torsión’ del continuo espacio-temporal tiene manifestaciones ya muy distintas (Stalnaker, 2008). Además, la propia mente puede reflexionar sobre esta capacidad de ‘torsión’, a fin de garantizar de este modo una posible *commensuración* recíproca a través de procesos de transformación muy complejos, sin renunciar en ningún caso a la noción de *infinito*, ya sea en su versión cuántica o relativista, e incluso a su interpretación *realista* desde la correspondiente teoría del conocimiento. En este sentido Hameroff justifica un posible *mecanismo tubular* de orden microcelular, que daría razón de esta continuidad espacio-temporal de tipo *neuro-fisiológico*, guardando una gran coherencia con las exigencias ahora impuestas por la *física cuántica y relativista*. En cualquier caso el razonamiento humano ni es *automático*, ni es necesariamente *algorítmico*, a diferencia de lo que ocurre en la *inteligencia artificial* (Penrose, 1999).

Para concluir una observación crítica. Penrose postula una posible correspondencia entre los principios que regulan el *macrocosmos*, el *microcosmos* y los propios procesos *neurofisiológicos* de la *mente humana*. Con este fin defiende planteamientos que podrían parecer *pampsiquistas*, o simplemente *sinequistas*, a partir de una teoría del *conocimiento como proceso*, al modo de Peirce o Whitehead (Brent, 1998). En este sentido la *teoría de las torsiones* de Penrose hace de las *singularidades físicas* cuánticas y relativistas un elemento esencial de toda teoría física, incluyendo ahora también las relaciones entre mente y cerebro, a pesar de que su planteamiento inicial fue más relativista que cuántico. En este sentido Penrose ha propuesto una vuelta a la *mecánica cuántica* de Bell, por considerar que hace un uso correcto del método de la *reducción objetiva*, poniendo de manifiesto la compatibilidad existente entre las *singularidades cuánticas y relativistas* (Faris, 2006).

6. El tránsito hacia el infinito cuántico y relativista a partir de las desigualdades de Bell.

John Ellis y Daniele Amati, en ‘*Reflexiones cuánticas*’ (Ellis,2000), han analizado las aportaciones de John Stewart Bell (1928-1990) a la fundamentación de la mecánica cuántica (Rheinberger, 2006). Se resaltan a este respecto las aportaciones de Bell en distintos laboratorios de partículas elementales; en 1963 en el SLAC de Stanford y desde 1964 a 1990 en el CERN de Ginebra (Crease, 1999). Puso de manifiesto la compatibilidad del *finitismo cuántico* con los conceptos básicos de la teoría relativista, incluida su teoría inacabada del *campo unificado*, sin admitir las reservas de Einstein a este respecto (Janich, 1997). Sólo puso una condición para resolver el problema planteado por von Neumann acerca de la inevitable referencia a *variables ocultas* de tipo *sub-cuántico, ultraluminoso o ultragravitacional*, por parte de cualquier cálculo mecánico, ya sea cuántico o relativista, a saber: poder remitirse a una *lógica cuántica no local*, que ya no exija una localización o una contextualización perfecta de los *objetos físicos* (Röthlein, 1999).

Por su parte, Penrose aporta un argumento muy ingenioso a favor de Bell (Rickles, 2006). En su opinión, el modelo de predicciones cuánticas exige la aceptación de una *lógica bivalente*, del blanco o negro, dentro de una epistemología donde las *variables ocultas* de todo tipo se ordenan así de un modo aleatorio, en combinaciones de a tres, dando lugar a 33 combinaciones posibles, al modo de algunas figuras del 'Waterfall' de Escher (Bourne, 2006). Pero en su opinión, ninguna de las combinaciones posibles respeta el mínimo lógico exigido por una mecánica cuántica respecto de la necesaria *censura* de aquellas variables ocultas, estén o no localizadas. Por ello se concluye la referencia necesaria a unas *variables ocultas sub-cuánticas no locales*, o simplemente *no contextualizadas*. Sin embargo, ¿realmente la *teoría de torsiones* de Penrose puede proporcionar a la mecánica cuántica un modelo de *variables ocultas sub-cuánticas no localizadas*, o *no contextualizadas*? (Forrest, 1988).

Por su parte Alain Aspect ha analizado más detalladamente la *paradoja de las desigualdades* de Bell (Russell, 1996). Según Neumann, la paradoja de Einstein-Podolsky-Rosen aparece cuando se presupone la validez de unas *variables ocultas sub-cuánticas*, que a su vez se remiten a un *modelo realista local*, a pesar de no poderlas verificar por un procedimiento *cuántico*. Para evitar esta situación, Bell sustituye estas *variables ocultas sub-cuánticas* por otras de tipo *no local*, compatibles a su vez con la *mecánica cuántica*, aunque a la larga también originen otras paradojas (Bird, 2007). En efecto, en un segundo momento el teorema de Bell también hace notar como la medición experimental de esas *correlaciones cuánticas*, o más bien *sub-cuánticas*, deberían sobrepasar determinados *límites mínimos de tolerancia* ahora exigidos por una *censura cósmica* de tipo cuántico. Se tuvo así que admitir así un tipo de *variables ocultas no locales*, que ya son compatibles con un *realismo indeterminista* de tipo cuántico, a pesar de tratarse de supuesto contrario al *realismo epistémico localista* de Einstein. Posteriormente se han comprobado experimentalmente estas *desigualdades* o *balbuceos* de Bell, teniendo que admitir la *no localización* de determinadas variables ocultas, aunque ello no impide que entre ellas se sigan estableciendo un tipo de correlaciones *cuánticas y relativistas* (Benz, 2000).

7. Conclusión: Hacia una posible compatibilidad entre el infinito cuántico y relativista.

La teoría física del siglo XX procuró por todos los medios establecer una *complementariedad* entre sus respectivas interpretaciones *cuánticas y relativistas* de sus nociones más básicas, incluida la respectiva noción de *infinito*. Sin embargo la empresa tropezó con un gran número de dificultades de tipo teórico y práctico debido al distinto tipo de *censura cósmica* energética, luminosa o simplemente gravitacional que en cada caso se establecía (Wirth, 2000), sin que el problema de la *infinita divisibilidad y amplificación* del espacio y del tiempo se pudiera abordar del mismo modo en todos los casos. De todos modos el debate experimentó un giro sorprendente, cuando diversas teorías aportaron procedimientos muy

expeditivos para sortear este anterior tipo de *censura*, ya se tratará de la *indeterminación cuántica*, los cálculos de *probabilidad bayesiana*, las nuevas *tecnologías astrofísicas*, la *teoría de torsiones* o de las *variables ocultas* ilocalizables (Bohn, 1993). Sólo así la *teoría de la relatividad* pudo seguir confiando en su estrategia de acción preferentemente especulativa, mientras que la mecánica cuántica siguió aportando evidencias observacionales, a pesar de su actitud inicial más bien escéptica ante este tipo de proyectos teóricos (Planck, 1933). Evidentemente la articulación interna de estas dos nociones de *infinito* exige la resolución de un problema metodológico tiene una *génesis post-kantiana* muy concreta. Sin embargo se trata de un problema muy complejo, que será abordado en otro lugar (Trusted, 1999).

Bibliografía:

- Benz, A. (2000), *The Future of the Universe. Chance, Chaos, God?*, Continuum, New York.
- Bird, A. (2007), *Nature's Metaphysics. Law and Properties*, Clarendon, Oxford University, Oxford.
- Bohn, D. (1997), *Causality and Chance in Modern Physics*, Routledge, London.
- Bohn, D.; Hiley, B. J. (1993), *The Undivided Universe*, Routledge, London.
- Bourne, C. (2006), *A Future for Presentism*, Oxford University, Oxford.
- Brent, J. (1998), *Charles Sanders Peirce. A Life*, Indiana University, Bloomington.
- Butterfiel, J.; Pagonis, C. (eds) (1999), *From Physics to Philosophy*, Cambridge University, Cambridge.
- Callender, C.; Hussett, N. (ed) (2000), *Physics Meets Philosophy at the Planck Length*, Cambridge University, Cambridge.
- Carrier, M.; Massey, G.; Ruetsche, L. (eds) (2000), *Science at Century's End. Philosophical Questions on the Progress and Limits of Science*, Pittsburgh University, Konstanz Universität.
- Castellani, E. (1998), *Interpreting Bodies. Classical and Quantum Objects in Modern Physics*, Princeton University, New Jersey.
- Crease, R. P. (1999), *Making Physics. A Biography of Brookhaven National Laboratory, 1946-1972*, Chicago University, Chicago.
- Diressen, A.; Suarez, A. (1997), *Mathematical Undecidability, Quantum Nonlocality and the Question of Existence of God*, Kluwer, Dordrecht.
- Dorato, M. (2006), *The software of the universe. An introduction to the history and philosophy of the laws of nature*, Ashgate, Aldershot.
- Ellis, J.; Amati, D. (2000), *Quantum Reflections*, Cambridge University, Cambridge.
- Ericsson, M.; Montangero, S. (eds.) (2008) *Quantum Information and Many Body Quantum System*, CRM, Pisa.
- Faris, W. G. (ed.) (2006), *Diffusion, Quantum Theory, and Radically Elementary Mathematics*, Princeton University, Princeton (NJ).
- Fischer, K. (1999), *Einstein*, Herder, Freiburg.

- Fölsing, A. (1996), *Albert Einstein: Eine Biographie*, Suhrkamp, Frankfurt.
- Forrest, P. (1988), *Quantum Metaphysics*, Blackwell, Oxford.
- Fraasen, B. C. van (2008), *Scientific Representation*, Oxford University, Oxford.
- Galison, P. (1997), *Image and Logic. A Material Culture of Microphysics*, The University of Chicago Press, Chicago.
- Gerhardt, V. (2000), *Individualität. Das Element der Welt*, C. H. Beck, München.
- Giere, R. N. (1999), *Science without Laws*, Chicago University, Chicago.
- Goenner, H.; Renn, J.; Ritter, J.; Sauer, T. (1998), *The Expanding Worlds of General Relativity*, Birkhäuser, Basel.
- Gribbin, J. (1996), *Schrödinger Kätzchen und die Suche nach der Wirklichkeit*, Fischer, Frankfurt.
- Hawking, S. W. (1989), *Historia del tiempo: del big bang a los agujeros negros*, Crítica, Barcelona.
- Hoeppe, G. (2007), *Why the Sky is Blue. Discovering the Color of Life*, Princeton University, Princeton, 2007.
- Howard, D.; Stachel, J. (eds) (2000), *Einstein. The Formative Years, 1879-1909*, Birkhäuser, Boston.
- Huggett, S. A.; Mason, L. J.; Tod, K. P.; Tsou, S. T.; Woodhouse, N. M. (eds) (1998), *The Geometric of Universe. Science, Geometry and the Work of Roger Penrose*, Oxford University, Oxford.
- Janich, P. (1997), *Das Mass der Dinge. Protophysik von Raum, Zeit und Materie*, Suhrkamp, Frankfurt.
- Kaplan, M. (1996), *Decision Theory as Philosophy*, Cambridge University, Cambridge.
- Kennefick, D. (2000), *Traveling at the Speed of Thought. Einstein and the Quest for Gravitational Waves*, Princeton University, Princeton, 2007.
- Kühnke, K.-L. (1993), *Entstehung und Aufstieg des Neukantismus*, Suhrkamp, Frankfurt.
- Koslicki, K. (2008), *The Structure of Objects*, Oxford University, Oxford.
- Kox, A. J.; Eisenstaedt, J. (eds) (2005), *The Universe of General Relativity*, Birkhäuser, Basel.
- Kuhn, T. S. (1999), *Black-Body Theory and the Quantum Discontinuity, 1894-1912*, Chicago University.
- Lakatos, I. (1999), *Escritos filosóficos. 2. Matemáticas, ciencia y epistemología*, Alianza, Madrid.
- Lara Garrido, L. (2008), *Introducción a la física del Cosmos*, Universidad de Granada, Granada.
- Laugwitz, D. (1999), *Bernhard Riemann (1826-1866). Turning Points in the Conception of Mathematics*, Birkhäuser, Boston.
- Logue, J. (1995), *Projective Probability*, Clarendon, Oxford University.
- Mahan, G. D.; *Quantum Mechanics in a Nutshell*, Princeton University, Princeton, 2009.
- Mainzer, K. (2000), *Hawking*, Herder, Freiburg.
- Maudlin, T. (1994), *Quantum Non-Locality and Relativity*, Blackwell, Oxford.
- McKeon, Richard; McKeon, Z.; Swenson, W. (eds) (1999), *Selected Writings of Richard McKeon. Volume 1: Philosophy, Science, and Culture*, Chicago University, Chicago, 1999.
- McQuillan, M.; MacDonald, G.; Purves, R.; Thomson, S. (2000), *Post-Theory. New Directions in Criticism*, Edinburgh University, Edinburgh.
- Melia, F.; *High-Energy Astrophysics*, Princeton University, Princeton, 2009.

- Monton, B. (2007), *Images of Empiricism. Essays on Science and Stances, with a Reply from Bas C. van Fraassen*, Oxford University, Oxford.
- Morrison, M. (2000), *Unifying Scientific Theories. Phisical Concepts and Mathematical Structures*, Cambridge University, Cambridge.
- Neffe, J. (2007), *Einstein. A Biography*, Polity, Cambridge.
- Newth, E. (1998); *Die Jagd nach der Wahrheit. Die unendliche Geschichte der Welterforschung*, Deutsche Taschenbuch, München.
- Newton-Smith, W. H. (ed) (2000); *A Companion to the Philosophy of Science*, Blackwell, Oxford.
- Nortmann, U. (2008), *Unscharfe Welt? Was Philosophen über Quantenmechanik wissen möchten*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.
- Ohanian, H. C. (2008), *Einstein's Mistakes. The Human Failings of Genius*, Norton, New York.
- Pemrose, R. (1999), *La nueva mente del emperador*, Grijalbo-Mondadori, Barcelona.
- Penrose, R.; Hawking, S. W.; Shimony, A.; Cartwright, W. (1999), *Lo grande, lo pequeño y la mente humana*, Cambridge University, Madrid.
- Penrose, R.; Isham, C. J. (1986), *Quantum Concepts in Space and Time*, Oxford University, Oxford, 1986.
- Planck, M. (1933), 'Die Kausalität in der Natur' (17-VI-1932, London), *Enthalten in Planck*, 233-259 págs.
- Plato, J. Von (1998), *Creating Modern Probability*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Popper, K. R. (1992), *Quantum Theory and the Schism in Physics*, Routledge, London.
- Popper, K. R. (1998), *Los dos problemas fundamentales de la Epistemología. Basado en Manuscritos de los años 1930-1933*, Tecnos, Madrid.
- Poser, H.; Dirks, U (Hrsg) (1999), *Hans Reinchenbach. Philosophie im Umkreis der Physics*, Akademie, 1999.
- Rheinberger, H-J. (2006), *Experimentalsysteme und epistemische Dinge*, Suhrkamp, Frankfurt.
- Rickles, D.; French, S.; Saatsi, J. (eds.) (2006), *The Structural Foundations of Quantum Gravity*, Clarendon, Oxford University, Oxford.
- Rose, P. L. (1998), *Heisenberg and the Nazi Atomic Bomb Project. A Study in German Culture*, California University, Berkeley.
- Rosenberg, A. (2000), *Philosophy of Science. A contemporary Introduction*, Routledge, London.
- Rothlein, B. (1998), *Das Innerste der Dinge. Einführung in die Atomphysik*, Deutscher T., München.
- Röthlein, B. (1999), *Schrödinger Katze. Einführung in die Quantenphysik*, Deutscher Taschenbuch, München.
- Rowe, D. E.; Schulmann, R. (2007), *Einstein on Politics. His Private Thoughts and Public Stand on Nationalism, Zionism, War, Peace, and the Bomb*, Princeton University, Princeton (NJ).
- Russell, R. J.; Murphy, N.; Isham, C. J. (eds) (1996), *Quantum Cosmology and the Laws of Nature*, University of Notre Dame.
- Sandbothe, M. (1998), *Die Verzeitlichtung der Zeit. Grundtendenzen der modernen Zeitdebatte in Philosophie und Wissenschaft*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.

- Sorensen, R. A. (1998), *Thought Experiments*, Oxford University, New York.
- Srinivasan, G. (ed) (1999), *From White Dwarfs to Black Holes. The Legacy of S. Chandrasekhar*, Chicago University, Chicago.
- Stalnaker, R. C. (2008), *Our Knowledge of the Internal World*, Oxford University, Oxford.
- Ternisien, J. A. (2005), *La transphysique. Ses aspects conceptuels, scientifiques et philosophiques*, Academie de Transphysiques, Paris, 2005.
- Thirring, W. (2007), *Cosmic Impressions. Trace of God in the Laws of Nature*, Templeton Foundation, Philadelphia.
- Thorne, K. S. (1995), *Agujeros negros y tiempo curvo: el escandaloso legado de Einstein*, Crítica, 1995.
- Trudeau, R. (1998), *Die geometrische Revolution*, Birkhäuser, Basel.
- Trusted, J. (1999), *The Mystery of Matter*, Macmillan, Hampshire, 1999.
- Vernaas, J. (2000), *A Philosophical Understanding of Quantum Mechanics*, Cambridge University, Cambridge.
- Wald, R. M. (ed) (1999), *Black Holes and Relativistic Stars*, Chicago University, Chicago.
- Waloschek, P. (1998), *Wörterbuch Physik*, Deutscher Taschenbuch, München, 1998.
- Ward, K. (2008), *The Big Questions in Science and Religion*, Templeton Foundation, West Conshohocken (PEN).
- Wirth, U. (2000), *Die Welt als Zeichen und Hypothese. Perspektiven des semiotischen Pragmatismus von Charles S. Peirce*, Suhrkamp, Frankfurt.
- Wright, E. (ed) (2008), *The Case for Qualia*, The MIT, Cambridge (MAS), 2008.
- Zimmermann, R. E. (1998), *Die Rekonstruktion von Raum, Zeit und Materie*, Peter Lang, Frankfurt.