

II.XIII. Principio Monista de Complementariedad (o modo monista complementario de descripción) (BORRADOR)

ISADORE NABI

Como se señala en (Frolov, 1984, pág. 73), la génesis histórica de este principio metodológico (que nace como un principio dualista y no monista) se encuentra en las interpretaciones filosóficas de Bohr en relación a los resultados experimentales de la mecánica cuántica. En forma generalizada y despojado de los elementos positivistas que caracterizan el pensamiento de Bohr, dicho principio puede formularse del siguiente modo: para reproducir la integridad del fenómeno en una determinada etapa “intermedia” de su conocimiento, es necesario emplear clases “complementarias” mutuamente excluyentes y mutuamente limitadoras de los conceptos que pueden usarse por separado, en dependencia de las condiciones específicas (experimentales y otras), pero que sólo tomadas en conjunto agotan toda la información sujeta a definición. Mediante el principio de complementariedad, Bohr esperaba resolver una de las paradojas de la mecánica cuántica, que mostró la insuficiencia de los viejos conceptos clásicos y, a la vez, no podía pasarse sin ellos en las primeras etapas. El principio de complementariedad permitió poner de manifiesto la necesidad de tomar en consideración la doble naturaleza ondulatorio corpuscular de los microfenómenos. Con ayuda del principio de complementariedad se estableció la equivalencia de dos clases de conceptos que describen las situaciones contradictorias. Así pues, en la concepción metodológica de Bohr hallaron reflejo elementos del pensamiento dialéctico. En las obras de varios adeptos de la llamada escuela de Copenhague (P. Jordan, Frank y otros), que compartían las concepciones positivistas extremas, el principio de complementariedad se usó para defender los puntos de vista idealistas y metafísicos. La necesidad de emplear las nociones “complementarias” no se deducía de la naturaleza objetiva de los microobjetos, sino de las particularidades del proceso cognoscitivo, y se vinculaba con el arbitrio del observador.

¿Por qué se plantea como *monista* este principio de complementariedad? Para comprender esto debe remitirse al lector a la génesis de la mecánica cuántica, específicamente a lo relativo a la dualidad onda-partícula. Como se señala en (Rosental & Iudin, 1971, pág. 128) y (Frolov, 1984, pág. 126), la dualidad onda-partícula es la calidad (propiedad) específica de los microobjetos descrita por la mecánica cuántica y que se expresa en la existencia en estos objetos de propiedades corpusculares y ondulatorias opuestas. Por primera vez el dualismo corpuscular-ondulatorio fue formulado con exactitud en las ecuaciones de Broglie, que describen las denominadas “ondas de la materia”. En el dualismo corpuscular-ondulatorio se expresa la interconexión del macro y micromundo, las particularidades de su unidad. La interpretación positivista del dualismo

corpuscular-ondulatorio niega la unidad interna de las propiedades corpusculares y ondulatorias de los microobjetos, declara que dichas propiedades sólo se excluyen y se complementan recíprocamente (principio de complementariedad), sin encontrarse en unidad esencial. Por su parte, el análisis mecanicista de este fenómeno separaba unas de otras las propiedades corpusculares y ondulatorias, convirtiéndose en características de distintos objetos. El enfoque dialéctico-materialista subraya la objetividad de las propiedades corpusculares y ondulatorias inherentes a la vez al microobjeto, pero que se manifiestan de diferente manera en dependencia de las distintas condiciones experimentales, buscando transitar hacia el conocimiento completo de estas propiedades opuestas de los microobjetos en su unidad e interconexión. Esta interpretación del dualismo corpuscular-ondulatorio fue desarrollada por Langevin, V. Fok, S. Vavílov y otros científicos. Así, esta dualidad metodológica del principio de complementariedad es en última instancia, en su verdad natural, un modo monista complementario de descripción. Con ello, la interpretación probabilística de la ecuación de Schrödinger se convierte en un recurso metodológico y no en una afirmación gnoseológica, lo que implica que la naturaleza de los fenómenos cuánticos es objetiva.

Por supuesto, esta interpretación del dualismo corpuscular-ondulatorio en el desciframiento completo del mecanismo de la conexión de estas propiedades opuestas la mecánica cuántica tropezó con grandes dificultades que no se han superado todavía por completo. Por ello se estudiará sintéticamente el estado actual de la dualidad onda-partícula, para mostrar la veracidad científica de las afirmaciones filosóficas antes expresadas¹.

Como señala (Williamson, 2009, pág. 6), el sistema hegeliano es un sistema que contiene una elaboración exhaustiva de las relaciones lingüísticas que sustentan las categorías en su *Ciencia de la Lógica* a través del método dialéctico, que equipara las categorías abstractas del pensamiento tanto con la estructura lógica de la cognición como con la estructura nouménica (esencial) de la realidad empírica, lo que le permitió resolver, aunque de forma idealista (y por tanto, incompleta y parcialmente errónea), un problema filosófico fundamental: el problema propiamente materialista de determinar la relación precisa entre las categorías abstractas y sus ejemplos físicos, empíricos reales. En la medida en que las categorías deban emplearse para comprender cualquier cosa, no se puede hablar de nada que no sea un ejemplo de una u otra de las categorías. Pero a la inversa, está claro que el estatus de las categorías como pensamientos abstractos puros las

¹ Lo que se planteará a continuación no es rigurosamente prerrequisito para la comprensión general de esta investigación, sin embargo, solo ello fundamentará con suficiente robustez filosófica y científica la interpretación del principio monista de complementariedad, a la luz de ley de conexión universal entre los diferentes y distintos fenómenos de la realidad.

hace deficientes en relación con sus ejemplos concretos, con todas las cosas del mundo físico que están estructuradas por ellas y que pueden ser pensadas por medio de ellas. O como dijo Kant, "todas [las categorías lógicas] no significarían nada si los sentidos no entregaran objetos y ejemplos. Si, por muy bien que explique qué es una sustancia y no supiera dar un ejemplo, sería en vano" (Kant 1997: 124). Esto indica el límite inherente de la ciencia de la lógica de Hegel: precisamente en la medida en que permanece dentro del dominio abstracto del pensamiento puro, no es lo suficientemente concreta y, por lo tanto, es inferior en relación con las "ciencias filosóficas" más determinadas como las de la "naturaleza" y "Espíritu" (Hegel 1892: 91; Hegel 1896: 494).

Así, como señala (Williamson, 2009, pág. 8), es profundamente sintomático que en un esfuerzo por especificar [el colapso de la función de onda], los físicos cuánticos recurran una y otra vez a la metáfora del lenguaje: el 'colapso' de la función de onda ocurre cuando un evento cuántico 'deja algún tipo de rastro 'en el aparato de observación, es decir, cuando está' registrado de alguna manera '. Lo que es crucial aquí es la relación con la externalidad: un evento se vuelve completamente "sí mismo", se realiza a sí mismo, solo cuando su entorno externo "toma nota" de él. ¿No prefigura esta relación constitutiva con la externalidad la lógica de la "realización simbólica", en la que una x "cuenta", se vuelve "efectiva", a través de su inscripción en la red simbólica que es externa a la "cosa misma"? (Žižek 1996: 223).

Por consiguiente, de lo anterior "(...) se desprende claramente que la necesidad de que los físicos cuánticos se refugien en las "metáforas del lenguaje" no indica de ninguna manera que estén retrocediendo de la claridad y el rigor teórico del método científico al dominio ambiguo y confuso de las construcciones lingüísticas. De hecho, como intenta demostrar Žižek, ocurre lo contrario: es en su intento de trasponer las fórmulas sin sentido causal de la mecánica cuántica al dominio metafórico del lenguaje cotidiano que las paradojas contraintuitivas inmanentes en ellas pueden salir a la luz, ser así vueltas explícitas y, por tanto, puestas en un formato conceptual sobre el que puede operar el método dialéctico (Žižek 1996: 230)." (Williamson, 2009, pág. 9).

La dificultad para lidiar con el colapso de la función de onda ha residido tradicionalmente en dos cosas. Primero, "(...) el colapso parece desafiar la "ley" de causalidad: cuando una partícula deja de ser observada, se ramifica desde su última posición registrada de acuerdo con la función de onda. La función de onda nos permite determinar la probabilidad de que la partícula emerja en una posición particular cuando se vuelve a observar, pero para una sola medición es absolutamente imposible saber de antemano dónde se materializará la partícula: cada materialización de la partícula parece tan aleatoria como la última, y es sólo

tomando las medidas acumulativamente que se puede discernir alguna apariencia de "orden" probabilístico en el mismo (Joos 2000: 15; Zeh 1996: 7)." (Williamson, 2009, pág. 9).

(Williamson, 2009, pág. 9) afirma que si bien cada "mundo" (el mundo de la mecánica cuántica, el mundo de la física clásica) puede funcionar coherentemente de acuerdo con leyes completamente deterministas cuando se deja dentro de su propio dominio, no hay ninguna razón por la que estos dos mundos no puedan ser mediados por un momento de absoluta contingencia cuando se trata de la transición dialéctica entre ellos. Sin embargo, este era un estado de cosas intolerable para Einstein, quien no pudo aceptar tal contingencia física, por lo que algunos filósofos de la ciencia sostienen (específicamente Nakazato Namiki - localizado en la fuente citada- y la fuente citada) sugieren que es por lo que defendió con vehemencia la existencia de "variables ocultas", de algún tercer término desconocido que nos permitiría someter el colapso de la función de onda al determinismo lineal que es evidente en todas partes en el mundo de la física. Sin embargo, olvida que, como señala (Gabriel, 210, págs. 14-15), Sin embargo, como se señala el mismo lugar, es ampliamente conocido y bien documentado que el sistema hegeliano elimina la contingencia para fundamentar un tipo especial de monismo espiritual que concibe la sustancia (esencia) de Spinoza como sujeto (la esencia como fundamento de la existencia), esto es, como espíritu que se desarrolla teleológicamente; y en ese proceso toda contingencia se convierte en un momento de la necesidad, desapareciendo como independiente de la necesidad en beneficio de una teleología histórica-universal. Por ello, la contingencia no puede ser absoluta y el programa científico de la mecánica cuántica deberá contemplar la explicación no-lineal a la relatividad de esta contingencia, que es precisamente lo señalado por la escuela de filosofía soviética.

El segundo problema con el colapso de la función de onda es que altera nuestras intuiciones naturales sobre los objetos físicos y su localización en el espacio: parecería completamente natural suponer que, si una partícula está en una posición espacial, no puede estar al mismo tiempo en otra. posición espacial. Esta intuición ha sido completamente minada por la mecánica cuántica. Cuando se observan, las partículas nunca aparecen en más de una posición al mismo tiempo; pero cuando no se observan, las partículas comienzan a obedecer lo que se conoce como la ley de "superposición cuántica": una partícula está en todas las posiciones posibles en las que podría estar (es decir, "dentro de la restricción de su función de onda") al mismo tiempo y a menudo interfiere consigo mismo (Nakazato Namiki Pascazio 1997: 25-28, 34; Žižek 1996: 221). (Williamson, 2009, pág. 10).

Dentro de este marco positivista, es el acto de medición por un aparato externo u observador lo que provoca el colapso de la función de onda, y se puede decir que los observables físicos (fotones, electrones, átomos de oro, etc.) existen solo después de que se miden (Joos 2000: 4). Y, sin embargo, esto presupone el aparato de observación macroscópico como un dato externo, y no explica cómo este aparato, al estar "gobernado por las mismas reglas de la mecánica cuántica que gobiernan todo lo demás en el universo", podría emerger en primer lugar (Weinberg 2005: 33). Al asumir que la "observabilidad" y la "mensurabilidad" son requisitos previos para la existencia física, estos físicos ya suponían demasiado, daban demasiado por sentado, es decir, el dispositivo de medición externo en sí. Así, "En *The Parallax View*, Žižek exhibe una aguda conciencia de esta importantísima inversión dialéctica: en un momento inicial, parece como si primero (ontológicamente, al menos) hubiera partículas interactuando en el modo de ondas, oscilaciones, etc. [una visión para la cual la superposición cuántica representa una paradoja inexplicable, es decir, demuestra que una partícula puede estar en dos lugares al mismo tiempo, puede interferir consigo misma, etc.]; luego, en un segundo momento, nos vemos obligados a realizar un cambio radical de perspectiva: los hechos ontológicos primordiales son las ondas mismas (trayectorias, oscilaciones), y las partículas no son más que los puntos nodales en los que se cruzan diferentes ondas. (Žižek 2006: 172)." (Williamson, 2009, pág. 10).

Por otro lado, cuando Williamson (p. 9) afirmó que Einstein esperaba una explicación causal de los fenómenos cuánticos cuyo carácter fuese lineal, con independencia de si tal afirmación es cierta o no, lo importante de la crítica de Einstein, Schrödinger et al a la concepción positivista de la mecánica cuántica (concepción probabilística de su naturaleza), en términos de partir de la lógica de la teoría de la onda-piloto de Louis de Broglie, no es la teoría en sí misma sino su lógica. Como se señala en (Bennett, 2016), la teoría de la onda piloto sostiene que las partículas no solo existen como ondas probabilísticas, sino que existen como partículas reales que siempre tienen propiedades definibles, así como también existen como ondas reales que influyen en cómo se mueven las partículas.

Tomando de referencia el experimento de doble rendija, cuando la luz se proyecta a través de dos rendijas paralelas, las ondas de luz chocan entre sí en el lado más alejado y crean un patrón (llamado patrón de interferencia) en la superficie que golpea. Pero cuando dispara una sola partícula de fotón a través de la doble rendija, todavía crea el patrón de interferencia a pesar de que no hay nada que interfiera con dicho electrón. De Broglie planteó que las ondas físicas existen además de las partículas y crean una especie de pistas para que las sigan las partículas. Si se conocieran todas las propiedades de la partícula (su velocidad, dirección, ubicación, etc.), entonces sería posible predecir con precisión dónde va a

aterrizar finalmente. Esto contradice la idea positivista que establece que el curso de la partícula individual es fundamentalmente aleatorio o probabilístico.

Por supuesto, debe señalarse que existen resultados teóricos-experimentales, el más reciente y famoso es el teorema de John Stewart Bell, que sostiene que "ninguna teoría física de las variables ocultas locales puede reproducir jamás todas las predicciones de la mecánica cuántica". Sin embargo, como señala la fuente citada, esto no significa necesariamente que la teoría de la onda piloto sea incorrecta, pero requiere que existan variables ocultas en la función de onda en lugar de aplicarse solo a la partícula.

Agregaré Bennett que "Quizás aún más condenatorio para la teoría de ondas piloto es el hecho de que no explica la teoría de la relatividad. La mecánica cuántica es el estudio de partículas atómicas y subatómicas a velocidades normales, mientras que la teoría cuántica de campos es el estudio de esas mismas partículas a velocidades relativistas. La teoría de la onda piloto no tiene contrapartida para explicar el comportamiento de las partículas a la velocidad cercana a la de la luz, lo cual es parte de la razón por la que no puede explicar las partículas que existen en dos lugares a la vez, o que entran y salen de la existencia, como parece que hemos observado." Sin embargo, la afirmación anterior es, en el mejor de los escenarios, imprecisa.

Como se verifica en (Oriols & Mompert, 2019, págs. xix-7), la mecánica de Bohm no es una mera herramienta computacional en términos de trayectorias cuánticas, sino una teoría completa y ontológica que proporciona una explicación coherente sobre cómo funciona la naturaleza. Los autores citados sostienen que el desarrollo de la ingeniería cuántica no se puede realizar a costa de olvidar la necesidad de una comprensión más profunda de las leyes físicas que gobiernan el mundo cuántico. Una de las discusiones olvidadas por la nueva generación de ingenieros cuánticos es el problema de la medición, que permanece dentro de la columna vertebral de la teoría cuántica. El problema de la medición se manifiesta en la teoría ortodoxa por su fracaso a la hora de explicar qué interacciones físicas entre partículas constituyen una medida y cuáles no. De hecho, hay muchos más ejemplos de la inmadurez de nuestro conocimiento cuántico. Así, la incapacidad para describir adecuadamente los sistemas de muchos cuerpos debido a su complejidad exponencial (el llamado problema de muchos cuerpos descubierto por Henri Poincaré) hace que la mayor parte del entendimiento que se tiene sobre este fenómeno se base en una descripción pueril de una sola partícula. No se posee una imagen física clara de la transición cuántica a clásica. ¿Qué hace que un sistema cuántico se comporte de forma clásica en algunas circunstancias? El hecho de que existan varias teorías cuánticas que son empíricamente equivalentes, pero

radicalmente diferentes a nivel ontológico, es una clara evidencia de las deficiencias en la comprensión de los fenómenos cuánticos antes señaladas.

Así, señalan los autores que “En la teoría ortodoxa, cada vez que hacemos una medición ocurre un proceso aleatorio. Pero, como no sabemos realmente qué hace que una interacción física sea una medida, realmente no conocemos el origen de tal aleatoriedad. En la teoría de Bohm, por ejemplo, esta aleatoriedad proviene de una incertidumbre en la posición inicial de las partículas. Con más esfuerzos para aclarar las teorías cuánticas, quizás podamos lograr una mejor comprensión del origen de la aleatoriedad cuántica y luego, el nuevo y emocionante edificio de aplicación desarrollado a lo largo de la nueva disciplina de la criptografía cuántica, basada en la presencia inevitable de dicha aleatoriedad cuántica intrínseca, simplemente se derretirá como un gigante con pies de barro. El lector puede argumentar que hay muchos trabajos científicos que respaldan el estado real de la criptografía cuántica. Quizás esta advertencia en particular sea completamente infundada y la criptografía cuántica ciertamente seguirá siendo tan sólida como la conocemos hoy. Pero quizás no. Es esclarecedor recordar aquí el teorema que John von Neumann planteó en 1932 sobre la imposibilidad de explicar la mecánica cuántica con variables ocultas (como las trayectorias cuánticas). Este teorema siguió siendo una verdad incuestionable, y parte de la esencia del mundo cuántico, hasta que David Bohm (con una explicación de los fenómenos cuánticos en términos de ondas y partículas) mostró que el teorema estaba equivocado (ya que su propia suposición preliminar excluye la existencia de Trayectorias bohmianas). El espectáculo curioso no es que John von Neumann (un científico destacado en muchas disciplinas) cometiera un error en un teorema, sino que la comunidad (con la excepción de Grete Hermann en 1935 que fue totalmente ignorada) aceptó ciegamente el teorema durante casi medio siglo.”

Existen muchos más ejemplos que certifican que la comprensión del mundo cuántico aún es inmadura. La función de onda, el elemento básico en la mayoría de las teorías, se puede preparar, por ejemplo, forzando el sistema cuántico a su estado fundamental, pero no se puede medir directamente en un solo experimento. La función de onda se puede medir a través de un protocolo débil, pero también se pueden medir las velocidades bohmianas a través de dicho protocolo. En resumen, el mundo cuántico es tan complicado que más de un siglo no ha sido suficiente para que la comunidad científica elabore claramente una descripción sin problemas sobre las leyes que lo rigen. Los autores señalan que no argumentan que la investigación sobre ingeniería cuántica deba detenerse. Por el contrario, sostienen que el desarrollo de la ingeniería cuántica y la investigación sobre los fundamentos de la teoría cuántica tienen que evolucionar íntimamente conectados para beneficiarse unos de otros para lograr mejores aplicaciones prácticas y una

comprensión más profunda del mundo cuántico y no construir lo que ellos denominan "un gigante con pies de arcilla"; el enfoque de los autores implica concebir la teoría como práctica concreta y la práctica como abstracción del pensamiento: implica la *praxis*, la comunión armónica entre teoría y práctica.

Adicionalmente, señalan los autores que la mecánica de Bohm concuerda con todos los experimentos cuánticos no relativistas realizados hasta la fecha. A pesar de ello, el estado actual de la mecánica bohmiana entre la comunidad científica es bastante marginal (la comunidad de la química cuántica es una excepción alentadora).

Los autores sostienen que "La principal razón (no científica) por la que todavía muchos investigadores creen que hay algo mal en la mecánica bohmiana ilustrarse con el cuento de Hans Christian Andersen "El emperador Ropa nueva." Dos estafadores prometen al Emperador lo mejor ropas que, como le dicen, son invisibles para cualquiera que esté no apto para su puesto. El Emperador no puede ver el (inexistente) ropa, pero finge que puede por miedo a parecer estúpido. El resto de la gente hace lo mismo. Los defensores de la interpretación de Copenhague han intentado producir pruebas de imposibilidad para demostrar que la mecánica de Bohm es incompatible con los fenómenos cuánticos [10]. La mayoría de los investigadores, que no son conscientes de la incorrección de tales pruebas, podrían concluir que existe cierta controversia con la formulación bohmiana de la mecánica cuántica y prefieren no apoyarla, por temor a parecer discordantes. Al final del cuento, durante el transcurso de una procesión, un niño pequeño grita "¡El Emperador está Desnudo!" En la historia de la mecánica cuántica, David Bohm [6, 7] y John Bell [11] fueron los primeros en exclamar a la comunidad científica: "¡La mecánica de Bohm es una interpretación correcta de los fenómenos cuánticos cuyos resultados exactamente coincide con las predicciones de la interpretación ortodoxa!""

Así, aunque no hay evidencia experimental contra la mecánica bohmiana, muchos investigadores creen que la mecánica bohmiana no es una herramienta útil para investigar. Los autores citados hacen referencia a un hecho histórico ocurrido al interior del gremio de la física teórica: "En palabras de Steven Weinberg, en un intercambio de cartas privado con Sheldon Goldstein [17], "En cualquier caso, la razón básica para no prestar atención al enfoque de Bohm no es una especie de rigidez ideológica, sino mucho más simple: es solo que estamos demasiado ocupados con nuestro propio trabajo como para dedicar tiempo a algo que no parece probable que nos ayude a progresar con nuestros problemas reales"."

El hecho de que todos los resultados medibles de la mecánica cuántica ortodoxa puedan reproducirse exactamente con la mecánica de Bohm (y viceversa) es el

punto relevante que justifica completamente por qué la mecánica de Bohm puede usarse para explicar o calcular diferentes fenómenos cuánticos en física, química, ingeniería eléctrica, matemáticas aplicadas, nanotecnología, etc. En la literatura científica, la técnica informática bohmiana para encontrar las trayectorias (sin calcular directamente la función de onda) también se conoce como técnica sintáctica, mientras que la técnica explicativa bohmiana (donde la función de onda se calcula directamente primero) se denomina técnica analítica. Además, el hecho de que la mecánica de Bohm sea una teoría sin observadores es una característica atractiva para aquellos investigadores interesados en pensar en los límites o extensiones de la teoría cuántica. Esta teoría muestra ventajas en términos explicativos², computacionales³ y en términos de las investigaciones fundacionales⁴.

Una de las más recientes investigaciones sobre el tema, (Pinto-Neto, 2021, pág. 1), que versa sobre una revisión general de la teoría de Broglie-Bohm, señala que esta teoría cuántica no solo es una descripción alternativa de los fenómenos cuánticos de acuerdo con todos los experimentos cuánticos ya realizados, sino que, a causa de lo anterior, es una teoría dinámica sobre trayectorias objetivamente reales en el espacio de configuración del sistema físico bajo investigación. Por tanto, no el mundo cuántico no es de naturaleza probabilística, prescindiendo por ello del postulado del colapso, haciéndola apta para ser aplicada a la cosmología. Los modelos cosmológicos emergentes generalmente están libres de singularidades, con un rebote que conecta una era en contracción con una fase en expansión, que en la actualidad se están observando (esto se expandirá más adelante). También se puede construir una teoría de las perturbaciones cosmológicas bajo este marco, que

² Es posible encontrar descripciones de la dinámica de los electrones, como cuando un electrón cruza una barrera de efecto túnel resonante e interactúa con otro electrón dentro del pozo. Sin embargo, según la teoría ortodoxa, solo es posible hablar de las propiedades de un electrón (por ejemplo, su posición) cuando es medido. Por lo tanto, un electrón que cruza una región de tunelización no está rigurosamente respaldado dentro de la mecánica cuántica ortodoxa, pero está dentro de la imagen de Bohm.

³ Aunque las predicciones de la interpretación bohmiana reproducen las de la formulación ortodoxa de la mecánica cuántica, su formalismo matemático es diferente. En algunos sistemas, las ecuaciones de Bohm pueden proporcionar mejores herramientas computacionales que las obtenidas con la maquinaria ortodoxa, resultando en una reducción del tiempo computacional, un aumento en el número de grados de libertad simulados directamente, etc.

⁴ Las formulaciones alternativas de la mecánica cuántica pueden proporcionar rutas alternativas para buscar los límites y posibles extensiones de la teoría cuántica. En particular, el Capítulo 7 de la fuente citada se presenta la ruta para conectar la mecánica de Bohm con la óptica geométrica y más allá, abriendo el camino para aplicar las poderosas herramientas computacionales de la mecánica cuántica a la óptica clásica, e incluso al electromagnetismo. La extensión natural de la mecánica de Bohm al régimen relativista se presenta en el capítulo 8 y a la teoría cuántica de campos en los capítulos 9 y 10.

puede confrontarse con éxito con las observaciones actuales, y puede complementar la inflación⁵ o incluso ser una alternativa a ella.

Los resultados de la investigación de (Pinto-Neto, 2021, págs. 29-30), muestran que esta teoría cuántica es adecuada para la construcción de modelos cosmológicos por los siguientes motivos:

- 1) El problema de la medición se resuelve de forma natural, sin necesidad de invocar la presencia de un agente externo fuera del sistema físico cuántico, lo que no tiene sentido cuando el sistema físico es todo el Universo.
- 2) El hecho de que las ecuaciones cuánticas habituales para la función de onda del Universo que surgen de muchos enfoques de la gravedad cuántica no presentan una forma de Schrödinger dificulta la interpretación física de la función de onda del Universo, especialmente en términos probabilísticos [65,110]. En la teoría de dBB, sin embargo, la función de onda del Universo Ψ produce las ecuaciones de guía, que proporcionan la evolución en el tiempo de todas las partículas y campos cuánticos presentes en el Universo. Por lo tanto, se puede asignar una interpretación nomológica a Ψ , como dando las leyes del movimiento para los grados cuánticos de libertad, de la misma manera que lo hacen los hamiltonianos y los lagrangianos. No es necesario hablar de probabilidades a este nivel; por tanto, las ecuaciones cuánticas para Ψ pueden tener cualquier forma. Cuando se trata de subsistemas en el Universo, se puede construir la función de onda condicional para describir este subconjunto de campos y partículas, que pueden satisfacer una ecuación similar a la de Schrödinger bajo supuestos razonables, y para esto surge una interpretación probabilística natural en términos de la regla de Born. función de onda condicional.
- 3) Existe el llamado problema del tiempo en la cosmología cuántica, ya que parece que la teoría cuántica es atemporal [110]. Este tema está íntimamente relacionado con el segundo. En el enfoque cuántico de dBB, las ecuaciones de guía producen una evolución paramétrica de los campos. Sin embargo, tenga en cuenta que la estructura espacio-temporal que surge del apilamiento ordenado de los campos a lo largo de este parámetro puede ser muy artificial, pero se pueden calcular; consulte [111] para obtener más detalles. Además, al ir a los subsistemas descritos por la función de onda condicional, donde surge una ecuación similar a la de Schrödinger, surge una evolución en el tiempo para el estado cuántico del subsistema.
- 4) Como, en la teoría de dBB, emergen las trayectorias de Bohm, la caracterización de las singularidades cuánticas se vuelve clara. Por ejemplo,

⁵ Teoría de la expansión temprana del universo, específicamente entre 10^{-33} y 10^{-32} segundos después del Big Bang.

en los modelos cosmológicos cuánticos discutidos aquí, se dice que el modelo de fondo no es singular si la trayectoria bohmiana del factor de escala satisface $a(t) = 0$ para todo t .

- 5) El límite clásico se obtiene fácilmente, ya sea mediante la inspección del potencial cuántico o mediante la comparación directa entre las trayectorias clásica y bohmiana.

Así, señalan (Pinto-Neto, 2021, pág. 30) que las características de la teoría de dBB, que resuelven naturalmente los problemas de la cosmología cuántica presentados anteriormente, tienen muchas consecuencias importantes:

- i) La característica (1) proporciona una comprensión clara de un problema de larga data, que es la transición cuántica a clásica de perturbaciones cosmológicas cuánticas en la inflación y los modelos de rebote⁶; esto se discute en la sección 5 de la investigación (p. 26-29).
- ii) La característica (4) permite una identificación simple de modelos cuánticos no singulares, como se muestra en la sección 4 de la investigación (p. 12-26): todos ellos presentan un rebote regular.
- iii) Todas las características anteriores producen ecuaciones simples para perturbaciones cuánticas en fondos cuánticos, lo que no es una tarea fácil con otros enfoques [112]. Estas ecuaciones simples podrían resolverse, proporcionando modelos sensibles de rebote con perturbaciones no homogéneas, en los que la presencia de un fluido de polvo (¿materia oscura?) produce un espectro de perturbaciones casi invariable en la escala, como se observa, con las amplitudes correctas. La energía oscura también se puede incluir, como en el modelo de campo escalar que se muestra en la sección 4. En este modelo, se observa que un efecto cosmológico cuántico se vuelve muy relevante durante el rebote cuántico, lo que lleva a consecuencias observables que resuelven un conflicto con resultados observacionales que no puede ser resuelto en términos clásicos, convirtiéndolo en un modelo viable a desarrollar.
- iv) La característica (5) hace directa la evaluación de los límites de los parámetros bajo los cuales la solución clásica estándar de Friedmann surge de una solución cuántica de Bohm.

⁶ El rebote, como se verá en detalle más adelante, está relacionado con los modelos cosmológicos. Los modelos cosmológicos son aquellos modelos físicos que buscan dar cuenta de los orígenes del universo y predecir su final. Uno de esos modelos es el modelo del *Gran Rebote* (o *Big Bounce*, en inglés), el cual propone la existencia de un universo cíclico, en el que el primer evento cosmológico del universo actual (el Big Bang) es el resultado del último evento cosmológico del universo anterior (en donde tal evento cosmológico fue su mismo colapso). Es miembro de la familia de modelos conocida como *modelos cosmológicos cíclicos*. En las teorías modernas de los universos cíclicos se espera que los efectos cuánticos desempeñen un rol fundamental en el rebote.

Como adelantaban (Oriols & Mompart, 2019, pág. 6), en tiempos recientes existen desarrollos teóricos que vinculan la teoría dBB con la teoría de la relatividad. Sin embargo, como se señala (Oriols & Mompart, 2019, págs. 607-658), “La gravedad cuántica tiene como objetivo describir la gravedad en términos de mecánica cuántica. Cómo exactamente debe hacerse esto sigue siendo una pregunta abierta. Se han puesto sobre la mesa varias propuestas, como la gravedad cuántica canónica, la gravedad cuántica de bucles, la teoría de cuerdas, etc. Estas propuestas suelen encontrar problemas técnicos y conceptuales.” (p. 607). Así, señalan en el mismo lugar que en la sección del libro antes referida (que corresponde al capítulo 10 del libro) se enfocan en la gravedad cuántica canónica y discuten diversos problemas conceptuales, como el problema de la medición y el problema del tiempo, en términos de que pueden superarse adoptando un punto de vista bohmiano. En una teoría bohmiana (también llamada teoría de la onda piloto o teoría de Broglie-Bohm, en honor a sus creadores de Broglie y Bohm), un sistema se describe mediante ciertas variables en el espacio-tiempo como partículas o campos u otra cosa, cuya dinámica depende en la función de onda. En el contexto de la gravedad cuántica, estas variables son una métrica del espacio-tiempo y una variable adecuada para los campos de materia (por ejemplo, partículas o campos). Además de resolver los problemas conceptuales, el enfoque bohmiano produce nuevas aplicaciones y predicciones en cosmología cuántica. Estos incluyen la resolución de singularidad del espacio-tiempo, nuevos tipos de aproximaciones semiclásicas a la gravedad cuántica y aproximaciones para perturbaciones cuánticas que se mueven en un fondo cuántico⁷.

Como señalan los autores (p. 656), es muy problemático interpretar la gravedad cuántica canónica dentro del marco de la teoría cuántica ortodoxa. La dificultad es que la teoría cuántica ortodoxa simplemente hace predicciones sobre los resultados de las mediciones y, por lo tanto, se basa en observadores o dispositivos de medición fuera del sistema cuántico de interés (aquí se observan los problemas del

⁷ Un fondo cuántico es una condición que deben cumplir los sistemas de ecuaciones de un modelo en la física teórica, que consiste en que las ecuaciones que caracterizan a una teoría puedan definirse de manera independiente de la forma real del continuo espacio-temporal y del valor de varios campos dentro de dicho continuo o tejido. La lógica de esto es que la caracterización del fenómeno físico modelado debe hacerse sin consideraciones métricas, sino únicamente considerando los aspectos topológicos del espacio-tiempo. La topología, como se verifica en **Fuente especificada no válida.**, es el análogo a la esencia en el mundo de los constructos matemáticos, en el mundo de la lógica formal (la geometría, por contraparte, sería su forma). Muchos modelos cuánticos buscan dar cuenta de cambios topológicos en el universo vistos como un proceso dinámico (aquellos en que la transición entre dos topologías del universo es de amplitud no-nula, véase **Fuente especificada no válida.**), como es el caso de la teoría de los campos de cuerdas y más recientemente la gravedad cuántica de bucles (véanse <https://arxiv.org/abs/2106.14188>, <https://arxiv.org/abs/1005.1057>, <https://arxiv.org/abs/0909.0939v5> y <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2633-1357/aba5a2>).

positivismo). Cuando el sistema cuántico de interés es todo el universo, no hay observadores externos ni dispositivos de medición. Como alternativa, existe la gravedad cuántica de Bohm. La gravedad cuántica de Bohm proporciona una descripción objetiva del universo en términos de un espacio-tiempo real y campos de materia (o partículas), cuya dinámica está determinada por la función de onda universal. Esto permite un análisis claro e inequívoco de cuestiones que a menudo son bastante ambiguas en el marco de la teoría cuántica ortodoxa. Algunos ejemplos son las preguntas sobre cuál es la historia del universo, si se originó o terminará en una singularidad espacio-temporal, cómo podemos probar experimentalmente la teoría, etc.

Los autores citados muestran y describen, en relación a las singularidades espacio-temporales, las soluciones bohmianas que están libres de singularidades espacio-temporales. Esto en el contexto de modelos simplificados de gravedad cuántica que asumen homogeneidad e isotropía. En todos los modelos considerados por los autores, son posibles las soluciones de rebote que describen un universo en contracción que evoluciona hacia uno en expansión. Tales soluciones rebotantes pueden describir el universo real (sin embargo, también consideran las desviaciones de la homogeneidad y la isotropía al introducir perturbaciones lineales en el modelo). Así, usando el enfoque de Bohm, describen cómo se pueden encontrar ecuaciones efectivas que describen el movimiento de estas perturbaciones cuánticas en un fondo cuántico homogéneo e isotrópico externo. El estudio de estas perturbaciones es importante ya que dejan una huella en, por ejemplo, la radiación cósmica de fondo de microondas. Esto permite distinguir entre diferentes teorías. Se presentan los resultados de un estudio reciente que investigó las perturbaciones de un modelo de fondo con un rebote de materia, donde el rebote se deriva de la dinámica bohmiana. Los resultados están acordes con la observación y, por lo tanto, tal modelo puede proporcionar una alternativa seria a la teoría de la inflación cosmológica, que es actualmente el enfoque predominante de la cosmología del universo temprano. Es importante destacar que la dinámica de Bohm para el fondo es crucial para obtener estos resultados. El enfoque de Bohm también se ocupa de forma natural del límite clásico. El límite clásico se obtiene siempre que los grados de libertad del espacio-tiempo o de la materia se comporten de forma aproximadamente clásica. En la obra de los autores (específicamente en el capítulo 10) lo anterior se aplica al problema de la transición cuántica a clásica en la teoría de la inflación y las teorías del rebote. Este problema se resuelve de manera muy simple en la mecánica de Bohm y arroja los resultados habituales (que son problemáticos de justificar dentro del contexto de la teoría cuántica ortodoxa). En la sección final (del capítulo 10), se presenta un enfoque de la gravedad semiclásica basado en la mecánica de Bohm. Este enfoque va más allá

del enfoque semiclásico habitual y podría proporcionar una nueva herramienta, no disponible en la teoría cuántica ortodoxa, para probar los efectos gravitacionales cuánticos.

Adicionalmente, existen otras aplicaciones de la gravedad cuántica de Bohm que no se discutieron como tal en el capítulo, sino únicamente de forma sintética en las conclusiones correspondientes a dicho capítulo. Una aplicación se refiere al problema del cerebro de Boltzmann en cosmología. Los autores habían mostrado que no existe tal problema en el contexto del enfoque bohmiano. Otra aplicación se refiere a la búsqueda del desequilibrio cuántico: mientras que una configuración inicial típica da las predicciones cuánticas habituales descritas por la regla de Born⁸, otras configuraciones iniciales pueden conducir a distribuciones de desequilibrio que producen desviaciones de la regla de Born. Dado que las distribuciones de no-equilibrio tienden a evolucionar muy rápidamente a distribuciones de equilibrio, es necesario encontrar sistemas especiales donde este no sea el caso.

Tales sistemas especiales podrían encontrarse en un contexto cosmológico, en particular con las perturbaciones primordiales para las cuales las distribuciones de desequilibrio pueden dejar huellas de observación en el fondo cósmico de microondas. En algunas de estas investigaciones, se conjeturó que algunas anomalías encontradas en la observación de las anisotropías⁹ de la radiación cósmica de fondo¹⁰ podrían explicarse por estas desviaciones. Sin embargo, todavía existe un gran debate sobre si tales anomalías son realmente significativas desde el punto de vista estadístico o si son producidas por otras causas.

Hasta ahora, no hay evidencia experimental de una violación de la regla de Born. Por supuesto, más allá de que esta regla haya sido o no violada experimentalmente hasta la fecha, la lógica de Born (que es la lógica de toda la escuela de Copenhague) no puede dar cuenta de forma orgánica no sólo de diversos aspectos de la mecánica cuántica (como los ya señalados) sino que tampoco puede explicar orgánicamente algunos de los descubrimientos más recientes relativos a mediciones del universo, los cuales debido a su enorme relevancia y rigurosidad

⁸ La regla de Born es un postulado clave de la mecánica cuántica que da la probabilidad de que una medición de un sistema cuántico dé un resultado dado. La evolución temporal de un sistema cuántico es completamente determinista según la ecuación de Schrödinger. Es a través de la regla de Born que la probabilidad entra en la teoría. Véase https://en.wikipedia.org/wiki/Born_rule.

⁹ La anisotropía (opuesta de isotropía) es la propiedad general de la materia según la cual cualidades como elasticidad, temperatura, conductividad, velocidad de propagación de la luz, etc., varían según la dirección en que son examinadas. Véase <https://en.wikipedia.org/wiki/Anisotropy>.

¹⁰ Forma de radiación electromagnética descubierta en 1965 que llena el universo por completo.

experimental apuntan a la necesidad de su incorporación en el actual paradigma de la física teórica.

Lo anterior se afirma por cuanto, por ejemplo, en (Aurich, Buchert, France, & Steiner, 2021, pág. 27) se presenta robusta evidencia empírica de que la forma del universo obedece a una topología de tipo torus tridimensional¹¹. Esta forma, como se verá a continuación, coincide con la gráfica planteada por Engels (y retomada por Lenin), para caracterizar la ley de la negación de la negación, conocida como *espiral dialéctica del desarrollo*¹². La investigación referida señala que en ella se “(...) muestra que ρ ¹³ es una poderosa sonda característica que es sensible al tamaño¹⁴ y la compacidad¹⁵ de las secciones espaciales del Universo. El estadístico ρ permite discriminar jerárquicamente celdas fundamentales compactas que tienen la misma

¹¹ Es decir, un universo cuya forma es esencialmente la de una dona de tres dimensiones.

¹² Como señalan (Rosental & Iudin, 1971, pág. 114), este gráfico conceptual es la descripción gráfica “(...) del resultado del desarrollo aplicado por Engels y Lenin al caracterizar la ley de la negación de la negación. El desarrollo se produce de modo que en el proceso de la transformación de un determinado fenómeno se registra una vuelta «a lo aparentemente viejo» (Lenin), es decir, se repiten en un estadio más elevado algunos rasgos y particularidades de los estadios inferiores. Esta particularidad del desarrollo puede representarse como la imagen gráfica de una espiral que se desenrolla verticalmente, de modo que cada nueva espira parece repetir la anterior, pero a un nivel más alto y en su conjunto se obtiene la imagen de un desarrollo ascendente, progresivo. El desarrollo en espiral se contrapone, al mismo tiempo, a la concepción –característica de los metafísicos– del desarrollo como movimiento por un círculo cerrado en el que no nace nada nuevo. Las bases lógicas del uso de esta espiral fueron sentadas por Hegel (véase <https://www.momo-berlin.de/leitartikel-detail-seite/hegel-der-nonkonformistische-nerd.html>).

¹³ Es la desviación estándar normalizada del gradiente de temperatura (p. 10), es decir, de la colección de derivadas parciales del modelo de topología cosmológica que registra los cambios de temperatura en el universo al pasar de una región del espacio a otra.

¹⁴ En el contexto del análisis matemático, el tamaño o cardinalidad de un conjunto es su medida. La medida puede ser longitud, área, volumen o hipervolumen.

¹⁵ Como señala **Fuente especificada no válida.**, un sistema $\{M_\alpha\}$ de conjuntos se llama *cubrimiento* del espacio topológico T , cuando $\bigcup_\alpha M_\alpha = T$. Un cubrimiento, compuesto por conjuntos abiertos o cerrados, se llama cubrimiento abierto o cerrado, respectivamente. Si una parte de $\{M_{\alpha_i}\}$ del cubrimiento M_α también constituye un cubrimiento del espacio T , se dice que $\{M_{\alpha_i}\}$ es un subcubrimiento del cubrimiento $\{M_\alpha\}$. Así, si T es un espacio topológico de base numerable (para definir una topología en un espacio T hay que señalar en él el sistema de conjuntos, sin embargo, en muchos casos concretos es más cómodo señalar no la totalidad de subconjuntos abiertos del espacio dado, sino un sistema determinante de subconjuntos que permite definir unívocamente la totalidad de los subconjuntos abiertos, y es a dicho sistema determinante al que se conoce como base de un espacio topológico; por otro lado, un conjunto es numerable si puede ponerse relación funcional biyectiva con el conjunto de números naturales), de todo cubrimiento suyo abierto se puede extraer un subcubrimiento finito o numerable. Establecido lo anterior, puede comprenderse el concepto de compacidad a través del teorema de Heine-Borel: de cualquier cubrimiento del segmento $[a, b]$ de la recta numérica por medio de intervalos se puede extraer un subcubrimiento finito **Fuente especificada no válida.** Este teorema sigue siendo válido cuando en vez de intervalos se consideran cualesquiera conjuntos abiertos: de todo cubrimiento abierto del segmento $[a, b]$ se puede extraer un subcubrimiento finito. Así, un espacio topológico T se llama *compacto*, cuando cualquier cubrimiento abierto suyo contiene un subcubrimiento finito.

topología¹⁶ de 3 torus¹⁷, pero diferentes volúmenes. Una clara distinción entre un modelo de universo plano múltiplemente conectado¹⁸ (el 3-toro cúbico) y un modelo de universo plano simplemente conectado¹⁹ con secciones espaciales infinitas (el modelo Λ CDM²⁰) se verifica muy bien para longitudes de lado de toro menores que $L \sim 3L_H$ ²¹ como se muestra en las figuras 3 y 4.” (p. 27). La implicación instrumental más importante de este descubrimiento es que, si la topología del universo fuese finita de tipo 3-torus (véase la figura 1) como parece indicar la evidencia²², entonces los físicos podrían potencialmente medir su tamaño, con todas las implicaciones que ello conlleva.

¹⁶ Formalmente, se llama topología en X a todo sistema τ de subconjuntos G de X que verifica dos condiciones: 1) El propio conjunto X y el conjunto vacío pertenecen a τ , 2) La unión $\cup_{\alpha} G_{\alpha}$ de un número cualquiera (finito o infinito) y la intersección $\cap_{k=1}^n G_k$ de un número finito de conjuntos de τ pertenecen a τ **Fuente especificada no válida.**

¹⁷ Esta topología 3-torus tiene un ancho de lado del torus determinado óptimamente (mediante métodos de optimización no detallados por los autores) en $L \approx 3.69L_H$.

¹⁸ Sistema de conjuntos del tipo espacio topológico que es conectado, más no simplemente conectado.

¹⁹ Un espacio topológico está conectado por caminos si para cualesquiera dos puntos $x, y \in X$, existe una función continua (un “camino”) f de $[0, 1]$ a X tal que $f(0) = x$ y $f(1) = y$ (véase <https://mathworld.wolfram.com/Pathwise-Connected.html>). Así, un espacio topológico conectado por caminos es simplemente conectado (también llamado 1-conectado) si toda curva cerrada (curva sin puntos finales que encierra completamente un área determinada, véase <https://mathworld.wolfram.com/ClosedCurve.html>) simple (que no se corta a sí misma, véase https://mathinsight.org/definition/simple_curve) puede ser reducida a un punto de forma continua en el conjunto de referencia (véase <https://mathworld.wolfram.com/SimplyConnected.html>).

²⁰ Conocido como *modelo Lambda-CDM* o *modelo Lambda-Cold Dark Matter*, representa el modelo de concordancia del Big Bang que explica las observaciones cósmicas de la radiación de fondo de microondas, así como la estructura a gran escala del universo y las observaciones realizadas de supernovas, arrojando luz sobre la explicación de la aceleración de la expansión del Universo. Es el modelo conocido más simple que está de acuerdo con todas las observaciones. Véase https://en.wikipedia.org/wiki/Lambda-CDM_model.

²¹ Un pársec es una unidad de longitud utilizada en astronomía, que equivale a $3,0857 \times 10^{16}$ metros. Un gigapársec equivale a mil millones de pársecs, distancia equivalente a unos 3,262 millones de años luz. L_H es igual a $4.4453^{+0.0386}_{-0.0379} Gpc$ (p. 8 de la investigación referida).

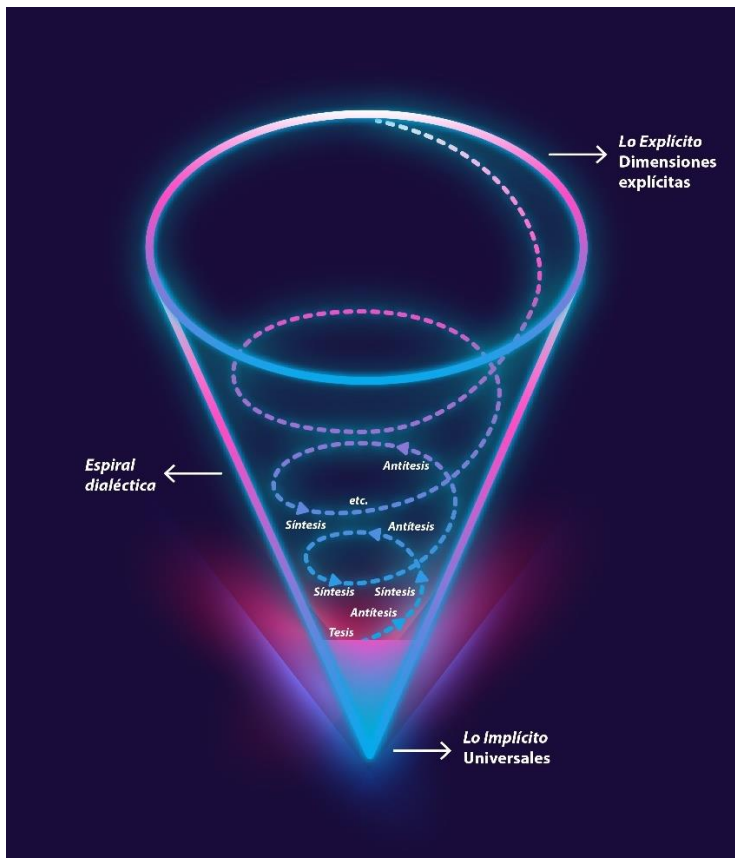
²² En cuanto las mediciones realizadas por los investigadores bajo los supuestos establecidos concuerdan con los resultados experimentales esperados y, al menos en general, con el cuerpo teórico actual de la física

Figura 3: Forma del Universo



Fuente: (Sutter, 2021).

Figura 4: Espiral Dialéctica-Materialista del Desarrollo



Fuente: Elaboración propia.

Otro ejemplo, aunque menos evidente, es el que se presenta a continuación en relación a la ley de la unidad y lucha de los contrarios como la característica esencial de la estructura de la realidad, es decir, como la condición inicial universalmente aplicable a los fenómenos sociales y naturales. Se encuentra ampliamente difundida entre los físicos teóricos la idea de que en el fondo de la galaxia (exactamente en el centro de Sagitario A* para el caso de nuestra galaxia) existe un agujero negro súper masivo, lo cual consideran como común denominador en todas las galaxias cuya forma es arremolinada de alguna manera. La opinión experta experimentada de la mayor parte de la comunidad científica es que estos agujeros negros súper masivos son los que generan el movimiento de las galaxias, así como también recientemente en *The Kavli Institute for the Physics and Mathematics of the Universe* suponen que son responsables de ciertas ondas gravitacionales (Takhistov, Fuller, & Kusenko, 2021, pág. 1). Más allá de las implicaciones inmediatas, las implicaciones mediatas de esto son fundamentales, puesto que está íntimamente relacionado con las órbitas de los planetas y estas últimas a su vez son determinantes en el surgimiento de la vida orgánica como una de las consecuencias posibles de la evolución de la materia y del mismo universo, que ha demostrado la capacidad de cambiar su dinámica a través del fenómeno conocido como *expansión acelerada del universo* (lo que claramente podría estar vinculado a los agujeros negros).

Sin embargo, el papel relevante que desempeñan los agujeros negros en la cosmología no solo no se limita a aquellos supermasivos. Según la evidencia experimental son objetos cósmicos que datan al menos desde instantes posteriores al Big Bang²³. Para hablar de ello se debe primero introducir el concepto de *agujeros negros primordiales*. En la década de los 60 y antes de ella, en la mayoría de las investigaciones cosmológicas se usaba el modelo del universo del Big Bang caliente como la mejor explicación de la realidad física, asumiendo condiciones iniciales perfectamente homogéneas y perfectamente isotrópicas (y sigue siendo así, con las modificaciones pertinentes, hasta nuestros días)²⁴. Sin embargo, se descubrió que, si el universo partiera de condiciones inicialmente perfectamente homogéneas e isotrópicas, las galaxias no podrían haberse formado en el tiempo transcurrido desde el Big Bang hasta la actualidad²⁵.

²³ Se dice “al menos” porque, debido al colapso de los instrumentos a medida que las mediciones realizadas se acercan al momento del Big Bang, no es posible afirmar con evidencia experimental que estos agujeros negros se encontraban presentes desde el nacimiento mismo del universo.

²⁴ Véase <https://home.cern/science/physics/early-universe>.

²⁵ (Gribbin, 1976, pág. 46).

Así, fue en 1964 que A. G. Doroshkevich y I. D. Novikov publicaron *Mean density of radiation in the Metagalaxy and certain problems in relativistic cosmology*²⁶ plantearon un modelo cosmológico de tipo Friedmann²⁷ en el que el universo contenía en su nacimiento inhomogeneidades en la forma de “núcleos” de expansión retrasada (en comparación con los elementos homogéneos del estado inicial del universo). La idea es que tales núcleos se estarían expandiendo desde un estado singular, de la misma manera que el Universo mismo se está expandiendo, pero a diferente ritmo (tasa de expansión). Luego, (Zel'dovich & Novikov, 1966), mostraron que la existencia de agujeros negros con dimensiones inferiores a ²⁸en las primeras etapas de expansión del modelo cosmológico conduce a una fuerte acumulación de radiación por parte de estos cuerpos. Señalaban los autores que “Si otros cálculos

²⁶ Como se señala en (Doroshkevich & Novikov, 2018, pág. 137), este artículo apareció en ruso en Doklady AN SSSR y en inglés en la revista de traducción Soviet Physics – Doklady. En él, se estimó la radiación cósmica de las galaxias en el rango de frecuencia de 108Hz a 1015Hz y se demostró que estaba de acuerdo con los datos. Luego se demostró, siguiendo las ideas anteriores de Gamow, que el fondo de microondas cósmico de cuerpo negro (forma teórica general de los agujeros negros) de un Big Bang (un cuerpo negro existente desde instantes posteriores al Big Bang) excedería significativamente la radiación galáctica en el rango de 10^9Hz a 10^{11}Hz . Esta fue la primera predicción precisa de ese trasfondo, que ahora juega un papel clave en la cosmología. El primer anuncio de su detección se produjo al año siguiente. Finalmente, debe señalarse, según (Rosental & Iudin, 1971), lo que por aquellas fechas se entendía por metagalaxia era un “Sistema cósmico que abarca a miles de millones de galaxias. Este término ha sido introducido por el astrónomo norteamericano Harlow Shapley. Anteriormente se habían empleado los términos de “gran universo” (a diferencia del “pequeño”, es decir, de nuestra Galaxia) y otros, que no pueden ser considerados como muy convenientes. La Metagalaxia es el mayor de cuantos sistemas materiales son accesibles a nuestros modernos recursos de observación, pero no constituye, ni mucho menos, todo el universo. Nuestra Galaxia con sus dos galaxias satélites, junto con la galaxia que nos resulta más próxima y que se ve en la constelación de Andrómeda y algunas más, forma el denominado Grupo local, uno de los numerosos subsistemas de la Metagalaxia. El desplazamiento hacia el rojo constituye una prueba de los movimientos en gran escala que se producen en la Metagalaxia.

²⁷ “Universo de Friedmann, universo modelo desarrollado en 1922 por el meteorólogo y matemático ruso Aleksandr Friedmann (1888-1925). Creía que la teoría de la relatividad general de Albert Einstein requería una teoría del universo en movimiento, a diferencia del universo estático que los científicos hasta entonces habían propuesto. Él planteó la hipótesis de un Big Bang seguido de expansión, luego contracción y un eventual Big Crunch. Este modelo supone un universo cerrado, pero también propuso soluciones similares que involucran un universo abierto (que se expande infinitamente) o un universo plano (en el que la expansión continúa infinitamente, pero se acerca gradualmente a una tasa de cero). Véase también Edwin P. Hubble.” **Fuente especificada no válida..**

²⁸ Este es el radio de los agujeros negros de Schwarzschild. Estos son agujeros negros estáticos que se definen sólo por el parámetro masa M y que queda rigurosamente delimitado por el horizonte de sucesos (el lugar a partir del cual la deformación del espacio-tiempo que ejerce el objeto supermasivo es tan grande que ni siquiera la luz puede “echarse hacia atrás y regresar” una vez llegada ahí). Teóricamente el espacio que el agujero negro ocupa en el universo forma una esfera perfecta en cuyo centro reside una singularidad (zonas donde no se pueden definir magnitudes físicas relativas a campos gravitatorios a causa de algún factor de deformación del continuo espacio-temporal).

confirman que la acumulación es catastróficamente alta, la hipótesis de los núcleos retardados durante la expansión entrará en conflicto con los datos de observación.” (p. 602).

Así, señalan que “Ambartsumyan²⁹ ha sostenido durante mucho tiempo la opinión de que las estrellas y galaxias se formaron a partir de hipotéticos D-objetos superdensos, cuyo material nunca pasó por un estado de baja densidad antes de convertirse en cuerpos celestes ordinarios³⁰. En 1964, uno de los autores de esta nota adelantó la hipótesis de que los D-objetos podrían ser piezas individuales de materia, o núcleos, en un universo de Friedmann en expansión, que por razones que no revisaremos aquí, se han retrasado en su expansión para un observador externo, están ubicados dentro de sus esferas Schwarzschild de radios $R = R_g = \frac{2GM}{c^2}$, y emergen de estas esferas solo después de un largo período de tiempo transcurrido desde el comienzo de la expansión general.” (p. 602).

El papel que los agujeros negros primordiales desempeñan en la dinámica cosmológica. El equipo de investigadores de Kavli, plantean la hipótesis de que los agujeros negros primordiales también podrían desempeñar un papel fundamental en la síntesis de elementos pesados (elementos con número atómico mayor que 92) (Innovation News Network, 2021). Los investigadores de Kavli IPMU creen que cuando estos agujeros negros primordiales chocan con las estrellas de neutrones y las destruyen, liberan material rico en neutrones. Adicionalmente, también existe la posibilidad de que la materia oscura, que representa la mayor parte de la materia del Universo, esté compuesta por agujeros negros primordiales (Takhistov, Fuller, & Kusenko, 2021, pág. 1).

Esta última posibilidad señalada por los físicos de Kavli está conectada con los esfuerzos del Experimento NA64³¹ del CERN y con dos investigaciones, en línea con los objetivos del Experimento NA64, que presentan evidencia significativa de una nueva partícula que se piensa transporta una quinta fuerza fundamental³².

²⁹ Físico teórico soviético y armenio que es ampliamente considerado como el fundador de la física teórica soviética.

³⁰ Esto se señala porque, como se verifica en **Fuente especificada no válida.**, la concepción histórica estándar sobre la formación de agujeros negros había sido siempre que provenían del hecho de que una estrella de masa M mayor que aproximadamente una vez y media la masa del Sol no puede sostenerse contra la gravedad cuando ha agotado su combustible nuclear.

³¹ Sección experimental del CERN destinada a buscar partículas que transporten una quinta fuerza fundamental vinculada a la materia oscura. Véase <https://home.cern/science/experiments/na64>.

³² Específicamente la investigación de Krasznahorkay et al en 2016 (<https://arxiv.org/abs/1504.01527v1>) y la investigación de Krasznahorkay et al en 2019 (<https://arxiv.org/abs/1910.10459v1>), que según las palabras del propio CERN: “En 2015, un equipo de científicos detectó un fallo inesperado, o “anomalía”, en una transición nuclear que podría explicarse por la producción de una partícula desconocida. Aproximadamente un año

Esto, en conjunto con los demás elementos antes señalados, sustenta con robustez una concepción física del universo en términos de unidad y lucha de contrarios, en cuanto pone de manifiesto la dialéctica del desdoblamiento de la singularidad (el nacimiento del universo) a través de las contradicciones antagónicas y no-antagónicas del Ser (expresadas en los diferentes roles de las cinco fuerzas fundamentales³³, que bajo determinadas condiciones son mutuamente excluyentes y complementarias a la vez³⁴), con lo que se refleja en el universo, así como en las categorías abstractas que de su estudio produzca el pensamiento, el hecho de que la solución de las contradicciones hace progresar la investigación por la lógica del propio objeto (que refleja la evolución del propio objeto por sus contradicciones internas) y sirve de procedimiento racional para elaborar nuevos conceptos, los cuales reflejan que el nuevo estado de conocimiento sobre la naturaleza del objeto estudiado implica la modificación de las categorías existentes y/o la construcción de nuevas categorías o determinaciones formales del pensamiento (Rosental & Iudin, 1971, págs. 272-273).

Referencias

- Aurich, R., Buchert, T., France, M. J., & Steiner, F. (29 de Octubre de 2021). The variance of the CMB temperature gradient: a new signature of a multiply connected Universe. *Classical and Quantum Gravity*, 1-33. Obtenido de <https://arxiv.org/pdf/2106.13205.pdf>
- Bennett, J. (1 de Diciembre de 2016). *The One Theory of Quantum Mechanics That Actually Kind of Makes Sense. But most physicists don't buy it*. Obtenido de Popular Mechanics:

después, los teóricos sugirieron que la nueva partícula podría ser evidencia de una nueva fuerza fundamental de la naturaleza, además del electromagnetismo, la gravedad y las fuerzas fuerte y débil. Los hallazgos llamaron la atención de físicos de todo el mundo y provocaron, entre otros estudios, una búsqueda directa de la partícula por parte de la colaboración NA64 en el CERN. Un nuevo artículo del mismo equipo, dirigido por Attila Krasznahorkay en el instituto Atomki en Hungría, ahora informa de otra anomalía, en una transición nuclear similar, que también podría explicarse por la misma partícula hipotética." Véase <https://home.cern/news/news/physics/plot-thickens-hypothetical-x17-particle>.

³³ Considerando la que esté asociada a la materia oscura, la interacción nuclear débil, la interacción nuclear fuerte, el electromagnetismo y la gravedad cuántica.

³⁴ Mutuamente excluyentes por cuanto su efecto sobre la materia es diferente debido a las mismas diferencias en la naturaleza individual de cada fuerza una de las fuerzas (vistas como Ser-Para-Sí del universo condensado en un punto -singularidad- o, al menos, en una región del espacio muy limitada (no todos los modelos cosmológicos incluyen singularidades, incluso esto puede variar según versión del modelo, pero en todos ellos aparece o la singularidad o algo próximo a una -sin ser una-), pero simultáneamente, a causa de su misma naturaleza (que es común, en cuanto están unificadas desde el origen de realidad misma, puesto que las cinco como colectivo son el Ser-En-Sí del universo condensado en alguna de las dos formas antes descritas), son complementarias, porque su acción conjunta modela la estructura física de la realidad.

<https://www.popularmechanics.com/space/a24114/pilot-wave-quantum-mechanics-theory/>

Doroshkevich, A. G., & Novikov, I. D. (2018). Republication of: Mean density of radiation in the Metagalaxy and certain problems in relativistic cosmology. *General Relativity and Gravitation*, 1-6. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10714-018-2441-x>

Frolov, I. T. (1984). *Diccionario de filosofia*. (O. Razinkov, Trad.) Moscú: Editorial Progreso. Obtenido de <http://filosofia.org/>

Gabriel, M. (Abril de 210). ¿Contingencia o Necesidad? Schelling y Hegel Acerca del Estatus Modal del Espacio Lógico. *Ideas y Valores*(142), 5-23. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/idval/v59n142/v59n142a01.pdf>

Gribbin, J. (1976). *Galaxy Formation. A Personal View*. New York: THE MACMILLAN PRESS LTD.

Innovation News Network. (04 de Enero de 2021). *Baby universes could present as primordial black holes*. Obtenido de Space: <https://www.innovationnewsnetwork.com/baby-universes-could-present-as-primordial-black-holes/8580/>

Oriols, X., & Mompert, J. (2019). *Applied Bohemian Mechanics. From Nanoscale Systems to Cosmology* (Segunda ed.). Marina Centre, Downtown Core, Singapore: Jenny Stanford Publishing Pte. Ltd.

Pinto-Neto, N. (2021). The de Broglie–Bohm Quantum Theory and Its Application to Quantum Cosmology. *Universe*, 7(134), 1-34. Obtenido de https://mdpi-res.com/d_attachment/universe/universe-07-00134/article_deploy/universe-07-00134-v3.pdf

Rosental, M. M., & Iudin, P. F. (1971). *DICCIONARIO FILOSÓFICO*. San Salvador: Tecolut.

Sutter, P. (19 de Junio de 2021). *Our universe might be a giant three-dimensional donut, really*. Obtenido de LIVESCIENCE: <https://www.livescience.com/universe-three-dimensional-donut.html>

Takhistov, V., Fuller, G. M., & Kusenko, A. (2021). Test for the Origin of Solar Mass Black Holes. *Physical Review Letters*, 1-6. Obtenido de <https://arxiv.org/abs/2008.12780>

Williamson, R. (2009). Hegel Among the Quantum Physicist. *International Journal of Žižek Studies*, III(1), 1-15. Obtenido de <https://zizekstudies.org/index.php/IJZS/article/view/139>

Zel'dovich, Y. B., & Novikov, I. D. (Julio-Agosto de 1966). The Hypothesis of Cores Retarded During Expansion and the Hot Cosmological Model. *Astronomicheskii Zhurnal*, 43(4), 602-603. Obtenido de <https://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/1967SvA....10..602Z>