

# UNOS CUANTOS PARA TODO

I. Física cuántica: ¿virtualidad o realidad?

*Jairo Giraldo*



Suplemento 1:  
**OPÚSCULOS DISCRETOS**

*Dianney Clavijo*

*Pablo Cuartas, Felipe Valencia*

*J.- Alexis Rodríguez, Carlos Eduardo Maldonado*

*Karen Milena Fonseca*

## UNOS CUANTOS PARA TODO

I. Física cuántica: ¿virtualidad o realidad?

Jairo Giraldo Gallo

Suplemento 1:

OPÚSCULOS DISCRETOS

Dianney Clavijo Grimaldo

Pablo Cuartas Restrepo

Felipe Valencia Hernández

J.- Alexis Rodríguez L.

Carlos Eduardo Maldonado

Karen Milena Fonseca Romero

---

Monografías Buinaima - 3

UNOS CUANTOS PARA TODO

**Primera parte**

I. Física cuántica: ¿virtualidad o realidad?

Jairo Giraldo Gallo

**Suplemento 1: Opúsculos Discretos**

Dianney Clavijo Grimaldo

Pablo Cuartas Restrepo

Felipe Valencia Hernández

J.- Alexis Rodríguez L.

Carlos Eduardo Maldonado

Karen Milena Fonseca Romero

Ediciones Buinaima

Bogotá, D.C., Colombia, Julio de 2009

ISBN: 978-958-987-091-4

Diseño de portada:

Lina Ximena Roza Torres

Trama de figuras:

Edwin Ferney Bermúdez Suárez

Diseño y diagramación: Andrea Kratzer M.

Impresión: Ediciones BETA, Carrera 15 No. 47-88

*El conocimiento es un bien de la humanidad.  
Todos los seres humanos deben acceder al saber.  
Cultivarlo es responsabilidad de todos.*

Se permite la reproducción de este material,  
con fines educativos o pedagógicos,  
a condición de que no se modifique el contenido  
y se citen adecuadamente fuente y autores.

---

## UNOS CUANTOS PARA TODO

### CONTENIDO

|  |     |
|--|-----|
| Una nueva guía para perplejos<br><i>Gabriel Restrepo</i> . . . . .   | 11  |
| <b>Dedicatoria</b><br><i>J. Giraldo</i> . . . . .  | 15  |
| <b>I. Física cuántica: ¿virtualidad o realidad?</b><br><i>Jairo Giraldo Gallo</i> . . . . .  | 21  |
| 0. Introducción al 'Gran Misterio' . . . . .   | 23  |
| 1. Retrospectiva o un extenso <i>post scriptum</i> . . . . .   | 33  |
| 2. Conceptos básicos clásicos y cuánticos . . . . .  | 59  |
| 3. Algunos experimentos cruciales . . . . .  | 123 |
| 4. El principio de superposición . . . . .   | 161 |
| 5. Otra vez la filosofía . . . . .   | 201 |
| 6. ¿Entendido? Breve introducción a unos 'Opúsculos Discretos' . . . . .   | 217 |
| <b>Suplemento 1: Opúsculos discretos</b> . . . . .   | 235 |
| Nanotecnología y salud: dos caras de un Viaje Fantástico . . . . .<br><i>Dianney Clavijo Grimaldo</i>                                  | 237 |
| ¿De qué está hecho el Universo? . . . . .<br><i>Pablo Cuartas Restrepo</i>   | 255 |
| La química como un capítulo de la mecánica cuántica . . . . .<br><i>Felipe Valencia Hernández</i>                                      | 273 |
| Una breve mirada a la Física de Partículas . . . . .<br><i>J.- Alexis Rodríguez L.</i>   | 331 |
| El problema y el reto de la interpretación en ciencia:<br>David Bohm y la física cuántica . . . . .<br><i>Carlos Eduardo Maldonado</i> | 339 |
| Unos cuantos misterios en el procesamiento cuántico<br>de la información . . . . .<br><i>Karen Milena Fonseca Romero</i>               | 357 |

## UNOS CUANTOS PARA TODO

## I. Física cuántica: ¿virtualidad o realidad?

## Suplemento 1: Opúsculos discretos

Primera parte de un texto surgido del curso de contexto  
**CUÁNTICA PARA TODOS Y PARA TODO**  
 ofrecido a estudiantes de todas las facultades  
 de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá

## II. Segunda revolución cuántica

## Suplemento 2: Opúsculos continuos

(En preparación)

**Titular del curso: Jairo Giraldo**

Presidente de «Buinaima»  
 Asociación Colombiana pro Enseñanza de la Ciencia

Profesor titular, Departamento de Física  
 Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá

www.buinaima.org    buinaima@gmail.com    jjgiraldog@bt.unal.edu.co

**Conferencistas invitados:**

Dianney Clavijo  
 Pablo Cuartas, Felipe Valencia  
 J.- Alexis Rodríguez  
 Carlos Eduardo Maldonado  
 Karen Fonseca

**RESEÑA DE AUTORES**

**Jairo Giraldo Gallo**, 'Maestro Universitario', es profesor titular en dedicación exclusiva de la Universidad Nacional de Colombia y ha sido investigador y profesor visitante en la Universidad Nacional Autónoma de México y el Centro de Investigación y Estudios Avanzados (México D.F.). Ha publicado numerosos artículos científicos en distintos campos de la física y varios de carácter divulgativo. Es presidente y fundador de la Asociación Colombiana pro Enseñanza de la Ciencia - Buinaima; coautor y editor de los libros «Nanotecnociencia, nociones preliminares sobre el universo nanoscópico» (2008) y «Conformación de un nuevo ethos cultural» (2007), en el que fueron coautores algunos de los autores de los opúsculos. Con motivo del Año Internacional de la Física (2005), en homenaje a Albert Einstein escribió «Genio entre genios». Forma parte del comité asesor del Programa Ondas de Colciencias; con el equipo de dirección y asesoría del Programa, participó en la elaboración del texto «Xua, Teo y sus amigos en la Onda de la Investigación», guía para la investigación de niños, niñas y jóvenes a nivel nacional. Doctorado en física teórica por la Universidad de Gotenburgo, Suecia, cursó el pregrado y la maestría en física en la Universidad Nacional - Sede Bogotá, Departamento de Física, del cual fue también director, director de programas curriculares y coordinador de investigaciones. Fue fundador y director por 6 años del Grupo de Física de la Materia Condensada (1999), presidente de la Sociedad Colombiana de Física y director de la revista de la misma en varias oportunidades, la que le confirió la Medalla al Mérito «Darío Rozo» en el año 2003. Actualmente dedica gran parte de su tiempo al «Proyecto ETHOS Buinaima», del que participan 15 instituciones académicas, entre ellas la Universidad Nacional de Colombia, la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales y la Academia Colombiana de Pedagogía. Recientemente fue nombrado miembro de número de esta última.

**Dianney Clavijo Grimaldo**, es médica cirujana de la Universidad Nacional de Colombia, especialista en Docencia Universitaria, estudiante de la Maestría en Ingeniería Biomédica de la Universidad Nacional. Profesora del Departamento de Morfología de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia y Coordinadora de la Unidad de Fisiología de la Fundación Universitaria Sanitas. Por su labor docente fue candidata a Mejor Docente de las Facultades de Medicina de Colombia en 1996 y a Maestra de la Medicina en Colombia en el año 2000 por la Asociación Colombiana de Facultades de Medicina (ASCOFAME). Recibió el premio a la Docencia de Excelencia Juan Uribechea y Navarro en el año 2003, el título Honorífico de Profesora Distinguida y de Tutor Par Honorario del Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario y el premio Nova et Vetera Experiencias de Innovación Pedagógica en el 2005. Investigadora en el área de recubrimientos en nanofase para biomateriales.

**Pablo Cuartas Restrepo**, Ingeniero mecánico de la Universidad de Antioquia con especialización y maestría en astronomía de la Universidad Nacional de Colombia, ha sido director científico y astrónomo del Planetario de Bogotá y jefe de ciencia y tecnología de Maloka. Actualmente se desempeña como profesor de la Universidad de Antioquia en el pregrado de Astronomía. Asesor de diferentes entidades gubernamentales como la Secretaría de Cultura de Bogotá, Colciencias y la UNESCO. Conferencista y divulgador, ha publicado libros y numerosos artículos sobre historia de la ciencia y la astronomía.

**Felipe Valencia Hernández** es profesor asociado del Departamento de Física de la Universidad Nacional de Colombia, especializado en métodos de estructura electrónica. Físico egresado de la Universidad Nacional, realizó estudios de maestría en la Pontificia Universidad Católica de Chile y de doctorado en el entonces recién creado Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT) bajo la supervisión de algunos de los más prestigiosos investigadores latinoamericanos en ciencias de materiales. Como investigador postdoctoral perteneció al grupo de física de materiales de la Università degli Studi di Padova. Es autor de varios artículos científicos en el área de física química y ciencia computacional de materiales.

**Jairo Alexis Rodríguez López** es profesor asociado en dedicación exclusiva del Departamento de Física de la Universidad Nacional de Colombia y fue el segundo doctor en física graduado por ese centro docente, estudios que realizó disfrutando de una beca otorgada por Colciencias; lo hizo en el área de partículas elementales y altas energías, campo en el cual se desempeña como investigador, particularmente en fenomenología. Fue becario de la Fundación MAZDA para el Arte y la Ciencia y obtuvo su magister y su título de pregrado en la misma universidad. Suele ofrecer cursos en integrales de camino, teoría cuántica de campos y otros relacionados. Es coautor de una treintena de artículos publicados en revistas de nivel internacional.

**Carlos Eduardo Maldonado** es Profesor Titular de Carrera de la Universidad del Rosario. Ha sido reconocido con la "Distinción al Mérito", por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú, por sus contribuciones a la filosofía y a la complejidad, 2008. Mención de Honor Premio Portafolio, 2008, Categoría: "Mejor Docente Universitario". Profesor Distinguido, Distinción conferida por la Universidad del Rosario, 2009. Filósofo de la Universidad del Rosario con tesis laureada, Ph.D. en Filosofía por la K.U. Leuven (Bélgica). Post-doctorado como Visiting Scholar en la Universidad de Pittsburgh (EE.UU); Postdoctorado como Visiting Research Professor en la Catholic University of America (Washington, D.C.), Postdoctorado como Academic Visitor - Visiting Scholar, Facultad de Filosofía, Universidad de Cambridge, Inglaterra. Es autor, entre una veintena, de los libros: Termodinámica y complejidad, Una introducción para las ciencias sociales y humanas (2005); CTS + P: Ciencia y tecnología como política pública

y política social (2005); Biopolítica de la guerra (2003); Filosofía de la sociedad civil (2002); Sistemas complejos, evolución tecnológica y retos para la ética (2002); Contrapuntos de investigación (2001). Editor y coautor de Visiones sobre la complejidad (2001), y Racionalidad científica y racionalidad humana. Tendiendo puentes entre ciencia y sociedad (2001). Compilador y coautor de: Bioética y educación. Investigación, problemas y propuestas (2005a); Complejidad de las ciencias y ciencias de la complejidad (2005b) y Complejidad: ciencia, pensamiento y aplicaciones (2007). Coautor de 24 libros, también ha publicado numerosos artículos en revistas especializadas nacionales e internacionales. Director de la Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia, ha sido miembro fundador y presidente de la Asociación Colombiana de Filosofía de la Ciencia. Miembro IEEE Education - Society.

**Karen Milena Fonseca Romero** es profesora asociada de la Universidad Nacional de Colombia, en donde imparte con frecuencia los cursos de Mecánica Cuántica y Óptica Cuántica, y coordinadora del Grupo de Óptica e Información Cuántica, autora de una treintena de artículos científicos y coautora del libro «Nanotecnología, nociones preliminares sobre el universo nanoscópico» (2008). Cursó su pregrado en Física en la Universidad Nacional de Colombia, y su maestría y doctorado en Física en la Universidad de Sao Paulo, Brasil; realizó una estancia postdoctoral de dos años en la Universidad de Augsburg, Alemania.

## EL PROBLEMA Y EL RETO DE LA INTERPRETACIÓN EN CIENCIA: DAVID BOHM Y LA FÍSICA CUÁNTICA

*Carlos Eduardo Maldonado*  
*Profesor Titular*  
*Universidad del Rosario*  
*carlos.maldonado@urosario.edu.co*

### Introducción

Hay dos circunstancias verdaderamente difíciles en ciencia. Una hace referencia a las circunstancias biográficas del hombre (o mujer) de ciencia. En la biografía resaltan, particularmente en el mundo contemporáneo aspectos tales como el manejo de situaciones afectivas y emocionales, pero también la de situaciones políticas y sociales del entorno del científico. Una de las condiciones necesarias para el triunfo de alguien en ciencia tiene que ver con un tema altamente complicado: el papel y la importancia del azar. Pues bien, nada más difícil que el azar -las circunstancias podría decirse en un lenguaje más clásico; aquel por ejemplo que se remonta a la vieja idea de Unamuno de acuerdo con la cual somos nosotros mismos y nuestras circunstancias. En un lenguaje más técnico, la filosofía fenomenológica y el existencialismo lo denominan "facticidad". En particular cuando el azar tiene que ver con las circunstancias políticas del pensador, del investigador o del descubridor. Pues bien, D. Bohm no tuvo dificultades serias en el plano emocional y afectivo. Todo lo contrario, su esposa Saral influyó positivamente -a partir de 1959- en el desarrollo de su obra y de su pensamiento. Las dificultades de Bohm tuvieron que ver con el plano político -para lo cual baste recordar que no solamente le tocó vivir en plena cacería de brujas del Macartismo, sino, además, consiguientemente, se opuso al mismo o, por decir lo menos, no participó en el juego de lo que representó el entonces director del FBI Hoover y el senador J. McArthur. Sin embargo, no es sobre este plano que quiero concentrarme aquí.

Antes bien, quisiera enfocar la mirada en la segunda circunstancia difícil en ciencia. Se trata del hecho de que en ciencia en general -independientemente de la tradición disciplinar-, la formación desde la base (pregrado) hasta los más altos niveles (doctorado) y más allá (estancias de investigación), se concentra en la formación y refinamiento de habilidades, pericias de diverso tipo y competencias. De manera tradicional el científico se convierte en un trabajador altamente especializado en el manejo de ciertas técnicas y fuertemente disciplinado (en la doble acepción de la palabra que hace referencia a la disciplina de investigación, y a la predictibilidad de muchos de sus comportamientos).

El gran escándalo en ciencia -en el sentido más amplio e incluyente de la palabra- consiste, siempre la interpretación - de los datos, de los experimen-

tos, de los textos, de los hechos. De manera habitual, el científico se atreve a hacer interpretaciones tan sólo al cabo, es decir, una vez que se ha consagrado en un campo; entonces habla de política, de filosofía, de cultura, de historia y de sociedad. Es como si la comunidad científica y académica (en ese orden) tan sólo se lo permitieran porque ha logrado consagrarse como una autoridad en un dominio determinado.

La excepción a este estado de cosas sucede cuando el científico lo hace un poco más temprano, y cuando sus interpretaciones -como corresponde, por lo demás- no se ajustan al modelo estándar de una ciencia o disciplina.

Pues bien, David Bohm es esa clase de científico en la que se reúnen los rasgos y situaciones anteriormente mencionados. De allí su importancia, su significado, su atractivo y su dificultad.

### El debate en Copenhague

La historia es conocida. En la famosa conferencia de Tolmo, Italia, 1927, estaba reunida toda la crema de la física cuántica: Max Planck, Albert Einstein, Niels Bohr, Max Born, Louis-Victor de Broglie, Erwin Schrödinger, Werner Heisenberg, Paul Dirac, además, claro, de profesores, asistentes e investigadores. La física cuántica ya había alcanzado la mayoría de edad y muchos de ellos ya habían conseguido el Premio Nobel.

El auditorio estaba lleno, y el turno de hablar era del Profesor Bohr. En la primera fila de los asistentes se encontraba, entre otros, Einstein. Ya era famosa la discusión entre ambos acerca de la interpretación de y las implicaciones acerca de la teoría cuántica. Bohr pronunció pocas palabras. Sencillamente tomó la tiza y expuso en el tablero una larga serie de explicaciones y una ecuación. Se trataba de la explicación de acuerdo con la cual prevalecería la interpretación de Copenhague: la realidad carecía de sustento material.

Durante unos largos minutos se hizo un largo silencio. Todos esperaban alguna reacción de parte de Einstein. Si no, Bohr habría triunfado y así, el modelo indeterminista de la realidad. Comentarios en voz baja, cuchicheos, miradas cruzadas, todas, ulteriormente dirigidas al profesor Einstein. Entonces, luego de unos minutos Einstein levantó la mano y exclamó: "Profesor Bohr: hay un error en su ecuación". Se puso de pie, se dirigió al tablero y señaló el error. Las voces, carraspeos, comentarios tenues y demás murmuraciones fueron en aumento.

Einstein había logrado finalmente demostrar que Bohr estaba equivocado, pero no por ello había logrado demostrar que la suya era la posición verdadera. Resumiendo, la conferencia de Tolmo terminó con la sensación de que Einstein no había logrado establecer si el universo era finalmente estable, necesario y

sujeto a principios y reglas -en síntesis, determinista-, pero que, al parecer, Bohr no tenía la razón al sostener de manera contundente que su interpretación de la teoría cuántica era la definitiva. Las consecuencias del triunfo definitivo de alguno de los dos habrían tenido implicaciones enormes en la historia subsiguiente de la humanidad. Sin embargo, el asunto quedaba, por lo pronto sin dirimir.

La dificultad consiste esencialmente en lo siguiente: La única posibilidad que tenemos de tener información acerca del universo cuántico es haciendo mediciones acerca de sus fenómenos y comportamientos, pero éstos a su vez alteran la historia y el comportamiento mismo del fenómeno observado. Pues bien, la respuesta de Bohr consistió en haber formulado el principio de *complementariedad*. La complementariedad designa la idea de que cualquier conocimiento destruye alguna propiedad del fenómeno cuántico observado. En consecuencia, la interpretación de Bohr afirma el *indeterminismo* de la física cuántica, con lo cual la complementariedad y el indeterminismo resultan como hechos fundamentales de la naturaleza con los cuales estamos obligados a trabajar - y a vivir.

Como quiera que sea, la interpretación de Copenhague ha permanecido durante mucho tiempo como la interpretación estándar o clásica del modelo cuántico. Esta sostiene que no afirmamos mucho (demasiado) acerca de la realidad, sino, tan sólo acerca de nuestra comprensión, visión o interpretación de la realidad. Por otros caminos, esta concepción se asimilará íntegramente en toda la filosofía que constituye al pensamiento o al enfoque sistémico.

La interpretación de Copenhague -denominada así por deuda con N. Bohr, científico danés que trabajó toda su vida en esta ciudad-, sostiene simple y llanamente que la teoría cuántica debe ser interpretada en forma única y exclusiva como una teoría que busca hacer predicciones acerca de nuestras experiencias, con lo cual, el problema referente a la realidad en términos de las probabilidades cuánticas son probabilidades de qué, es respondido en términos del papel que el observador, o la conciencia, desempeña en la formulación misma de la teoría.

Esencialmente, la interpretación de Copenhague afirma que la realidad es relativa al observador, y que es el observador, específicamente mediante la medición y la experimentación, quien introduce en el mundo la flecha del tiempo; esto es, la distinción entre el pasado y el futuro. Más exactamente, la observación o la medición ponen de manifiesto que una cosa es el fenómeno antes de la observación y otra perfectamente distinta después de la observación. El ejemplo más conspicuo al respecto es el experimento (mental) del gato de Schrödinger. Sencillamente, la incertidumbre el mundo es de orden eminentemente epistemológico.

En contraste, D. Bohm aporta una solución o una alternativa a las interpretaciones de Copenhague. La solución aportada por Bohm se sitúa en la vía de una filosofía realista -por así llamarla-. Su interpretación ha sido denominada por diversos autores como no-relativista, y por otros más, como mecánica en el sentido de que presupone y afirma la existencia de un mundo físico, al cual agrega justamente el mundo de los estados cuánticos. Sólo que en la evolución del pensamiento de Bohm, la realidad no debe ser asimilada en sentido ingenuo o empírico, puesto que a ella le subyace un estrato, por así decirlo, más fundamental. Con ello Bohm dirige la mirada hacia el universo cuántico y sub-cuántico.

Bohm estuvo en el centro de su época. Primero, participó en el proyecto Manhattan por invitación del propio Oppenheimer. Obtuvo su doctorado de la Universidad de California, Berkeley bajo la dirección del propio Oppenheimer. Fue víctima de las persecuciones del macartismo en plena guerra fría y la Universidad de Princeton le revocó o no le renovó su contrato. Después de un periplo por varios países se convierte en profesor del Birkbeck College en la University of London y sería elegido Fellow de la Royal Society en 1990.

El nombre de Bohm se encuentra entre lo que podría llamarse la segunda generación de la física cuántica, después del grupo conformado por Planck, Einstein, Bohr, Born, Dirac, y los demás. Hizo notables contribuciones a la física del plasma y la mecánica cuántica. Fallece en Londres en 1992. Interlocutor de Einstein y de Feynman, comete el atrevimiento de proponer una interpretación fuerte por vía ontológica de la física cuántica, lo que le valdría el rechazo de buena parte de la comunidad científica de su época. Sólo, irónicamente, de manera póstuma, al cabo de un par de lustros, sus ideas parecen haber vuelto a ser consideradas con seriedad. El triunfo póstumo, digamos, de Bohm avanza por uno de los caminos más difíciles de la teoría cuántica, de la filosofía y la cosmología, a saber: la idea de una pluralidad de mundo, y de un orden implícito en el universo en el que el tiempo y el espacio no son importantes, y en donde el pasado, el presente y el futuro confluyen simultáneamente en los pliegues del universo.

### El problema: la naturaleza de la realidad

En términos generales, acaso bastante filosóficos, es conocida la famosa expresión de Einstein acerca de la naturaleza de la realidad. Sin embargo, es preciso presentar, aunque de manera sintética, el cuadro completo. A la expresión de Einstein: "Dios no juega a los dados" se afirma que Bohr respondió: "¡No le digas a Dios qué es lo que tiene que hacer!".

Como es sabido, todo se funda en el dúplice problema del comportamiento de los fotones como partículas y/o como ondas, y del problema de la medición

del par de fotones según si atraviesan una pared con un orificio o con dos orificios, o también, con el famoso experimento de la doble pared.

Confirmando, por otros caminos, lo establecido por la psicología del siglo XIX -notablemente a partir de los experimentos clásicos de Wundt-, la física cuántica pone de manifiesto que la observación de un fenómeno modifica el comportamiento del fenómeno, pero, aún más sorprendentemente, el comportamiento mismo parece no depender, en modo alguno, del papel y la importancia del observador; por ejemplo, de los experimentos realizados.

Como es sabido, una de los criterios en el famoso y sumamente difícil problema de la demarcación -es decir, la distinción entre la ciencia y la pseudociencia- consiste en la reproducibilidad de los experimentos. Pues bien, los experimentos realizados con fotones -haces de luz- plantea el problema de la dirección misma de los fotones.

Así las cosas, la naturaleza parece ser bastante más caprichosa, impredecible, inmanejable e inexplicable que lo que la mecánica clásica permitía pensar. Como consecuencia, parecerían emerger dos cuadros completamente distintos del universo, uno válido para la escala macroscópica y que viene a explicarse, ulteriormente, por la teoría de la relatividad, y otro muy distinto, el de la escala microscópica que explica la teoría cuántica. Pues bien, la comprensión popular del mundo que incluye elementos generales de la física del universo macroscópico y microscópico se funda en este dualismo.

En otras palabras, mientras que el universo macroscópico parece ser del orden determinista, el microscópico pareciera estar marcado por el indeterminismo y el azar. A fin de precisar esta idea, vale la pena recordar el estado general de las interpretaciones de la realidad.

La física cuántica posee diversas interpretaciones. Estas interpretaciones se expresan o se condensan en diversos modelos. Los modelos más destacados son: la suma de historias, la interpretación transaccional, la interpretación de historias consistentes, la interpretación de conjunto, la interpretación de Copenhague, la decoherencia, las variables ocultas, la interpretación de la pluralidad de mundos, la lógica cuántica.

#### *Interpretaciones de la física cuántica*

*La suma de historias, la interpretación transaccional, la interpretación de historias consistentes, la interpretación de conjunto, la interpretación de Copenhague, la decoherencia cuántica; las variables ocultas, la interpretación de la pluralidad de mundos, la lógica cuántica.*

Tabla I.

La física cuántica ha contribuido como pocas otras ciencias y disciplinas -exceptuando quizás, parcialmente, a la cosmología y a ese conjunto que se denomina las ciencias de la complejidad (observando que la teoría cuántica está implicada necesariamente en ambas)- al problema fundamental acerca de la naturaleza de la realidad. Así por ejemplo, en torno al debate sobre si existe una única realidad, sustancial y subsistente por sí misma independiente del sujeto, o si la realidad es relativa al observador, o incluso también si no existe una única realidad sino una pluralidad, siendo entonces el problema el de si existe alguna conexión ("comunicación") entre ellas o no, y si existe cómo es. Con seguridad los problemas y retos más apasionantes en ciencia, como también en filosofía, en arte y en literatura, por no mencionar incluso a la religión y la poesía, por ejemplo, se encuentran en este punto. Sin ambages, el tema apasionante de la cosmología encuentra sus raíces en la física cuántica y no puede ser resuelto, en absoluto, sin ella.

Hasta el desarrollo de la teoría cuántica incluyendo, desde luego, a la mecánica cuántica, la idea tradicional de realidad era de tipo objetivo, sustantiva y compacta o unificada - precisamente en la acepción más clásica de la palabra; ya sea en filosofía, ciencia o incluso religión (particularmente en Occidente). En contraste, con absoluta seguridad, la teoría cuántica representó la más grande de las crisis del concepto de realidad y de naturaleza en la historia de la humanidad occidental. Con ello, en rigor, el cisma profundo en toda la tradición que se funda en Platón y Aristóteles, es, puntualmente dicho, el resultado de la incorporación de la incertidumbre y la idea de que la realidad carece de un sustrato propio al margen e independientemente del sujeto. Incluso la obra de Bohm se sitúa en esta dirección.

### El problema se funda en la física cuántica

Mientras que Einstein se acercó a la física cuántica con dudas y buscó revelar su incompletud demostrando su inconsistencia, Bohr aceptó plenamente las ideas de la física cuántica y exploró sus consecuencias con respecto a nuestro modo de pensar con respecto al universo físico. Ambos científicos representan los dos extremos de una ciencia o metafísica de la realidad. La de Einstein es conocida como la de un realismo extremo u objetivo, en tanto que la de Bohr se eleva como la voz más clara y contundente de la llamada Escuela de Copenhague.

En 1935 Einstein, Podolski y Rosen (dos asistentes suyos) publican un artículo referido a un experimento mental fundado en la crisis realista que implica la dualidad onda-partícula. Básicamente, el artículo<sup>21</sup> plantea cualquier atributo

<sup>21</sup> El título es: "Can quantum, mechanical description of physical reality be considered complete?", en *Physical Review*, No. 47 (1935), págs. 777-780.

de un sistema físico que pueda ser predicho con precisión sin alterar, por obra de la medición desde luego, dicho sistema puede ser considerado como un elemento de (la) realidad física. De manera concluyente, digamos, el artículo plantea la hipótesis de localidad, de acuerdo con la cual lo que sucede en un lugar no puede influir de manera inmediata en lo que sucede en otro lugar distante. Esta idea sería designada por todo el mundo como la paradoja EPR.

Más exactamente, la paradoja EPR (Einstein, Podolski, Rosen) hace referencia a la existencia de unos vínculos "fantasma" entre las partículas de suerte que estas se entrelazan de forma que es perfectamente sorprendente. Pues bien, llevar a cabo una prueba experimental del llamado experimento EPR es extremadamente difícil. El tema se conocería luego, gracias particularmente a los trabajos de Bell, como el entrelazamiento (*entanglement*), seguramente el más apasionante de todos los temas en la física cuántica. Bell, quien tuvo en cuenta los trabajos de Bohm, y en particular el de 1952, planteó que no había ninguna paradoja. El tema debe quedar aquí, sin embargo de lado, y hace referencia al fenómeno apasionante del entrelazamiento (*entanglement*) que habremos de considerar posteriormente de cara al desarrollo último de las ideas de Bohm.

Como quiera que sea, el experimento EPR es exactamente un experimento mental, y su mérito es el de poner de manifiesta una paradoja, a saber: que la medición simultánea de dos partículas por separado pone de manifiesto vínculos sorprendidos como si pudieran comunicarse. La paradoja hace referencia a que esa clase de comunicación es definitivamente contra intuitiva. Sin embargo, por otra parte, el experimento EPR permite avanzar con respecto a la indeterminación considerada por Heisenberg, para quien la ubicación y el momentum de cada partícula y de ambas entre sí están marcadas esencialmente por un halo de indeterminismo - epistemológico.

|  |  |
|--|--|
| <i>Antirrealistas</i>  | <i>Realistas</i>                                       |
| <i>Niels Bohr, Werner Heisenberg, Max Born, Wolfgang Pauli, Pascual Jordan, etc.</i> | <i>a) Albert Einstein</i>                              |
| <i>(Es decir, la Escuela de Copenhague)</i>  | <i>b) Louis de Broglie (y su escuela) – David Bohm</i> |

Tabla 2. Líneas de interpretación de la física cuántica.

### El aporte de Bohm

David Bohm publica uno de los libros más importante sobre física cuántica en 1951, *Quantum Theory* (reeditado en Dover en 1989). Y más tarde en 1957

publica *Causality and chance in modern physics*. En el primero, Bohm presenta y discute a la teoría cuántica en sentido clásico sin aportar de manera definitiva ni muy radical su propia interpretación, aun cuando introduce ya en ese libro la más importante de toda su interpretación, a saber: la idea de variables ocultas. En el libro de 1957 Bohm discute de manera radical el problema del azar -chance- en el cuerpo de la teoría cuántica. Ya había sido víctima de la persecución del macartismo, había emprendido el periplo internacional mencionado al comienzo, y su vida se mueve en el avatar de la oportunidad y el sentido de necesidad de la existencia.

El modelo de Bohm se funda en tres asunciones básicas: primero, en contraste con la teoría de la relatividad de Einstein, afirma la existencia de acciones instantáneas a distancia. Con ello, sostiene que existen relaciones mayores o mejores que las de la velocidad de la luz; segundo, sostiene que la distribución de probabilidad existe efectivamente en la naturaleza misma y no es simple y llanamente, como lo afirma la interpretación de Copenhague, una construcción mental por parte de los científicos; en tercer lugar, Bohm sostiene la existencia de un mundo clásico de partículas y/o de campos clásica.

En rigor, Bohm disuelve o resuelve (como se prefiera) la paradoja EPR, puesto que la paradoja surge de la asunción implícita de que lo que sucede en un tiempo y lugar es independiente de lo que un observador científico, que actúa en el mismo tiempo pero a una distancia considerable, decide medir. El problema es que el observador está limitado por la velocidad de la luz, con lo cual, a los ojos de Einstein, la acción a distancia es físicamente imposible. En contraste, Bohm introduce la acción local a distancia. Para Bohm la colección entera de partículas actúa como una entidad singular compleja. Bohm sienta así las bases para la comprensión contemporánea del átomo, tomando una distancia grande no solamente con los modelos clásicos de Rutherford y Danton, sino también con el modelo clásico nuclear de Bohr.

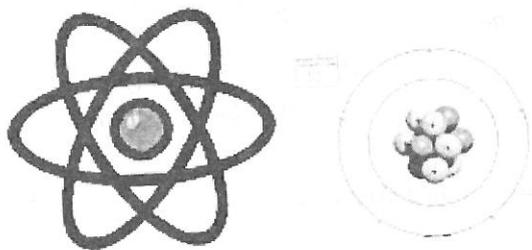


Gráfico 1. Modelos de átomo.

El modelo de Bohm constituye una alternativa, si se quiere, a un modelo puramente aleatorio de la realidad. Podría establecerse, así, un nexo con la

ciencia del caos en cuanto que ésta es una ciencia determinista. Otra cosa es el caos indeterminista, que es un tema difícil sobre el cual, por lo demás, estaba trabajando I. Prigogine en el momento de su fallecimiento.

Bohr, y posteriormente J. von Neumann, tuvieron una fuerte influencia para la posibilidad de asumir un modelo realista de la física cuántica, prefiriendo por una aproximación esencialmente probabilística, en la que las probabilidades remiten, siempre, ulteriormente, al papel del observador - del científico, o de la comunidad científica. Digámoslo claramente: se trató de una postura mediante la cual la interpretación de Bohm fue silenciada y dejada de lado. La ironía es que la historia habría de darle, ulteriormente, la voz y voto a la interpretación de Bohm.

La interpretación de Bohm es además causal; mejor aún, causal y realista (en rigor ambos conceptos se implican recíprocamente a la luz de la tradición científico-filosófica). La partícula y la onda son actuales, existen simultáneamente. La onda es una especie de "onda piloto" que guía a la partícula por medio de una "fuerza cuántica" puntual, la cual es generada por un "potencial cuántico". Cada partícula existe en todo momento -en todos los tiempos- y sigue una trayectoria precisa completamente determinada por el potencial cuántico mediante las ondas piloto que genera. En síntesis, en la interpretación bohmiana, el indeterminismo y la aleatoriedad desaparecen del universo (cuántico).

En otras palabras, el principio de incertidumbre antes que ontológico, es epistémico. Limita tan sólo lo que podemos conocer, no las propiedades de las partículas. En cada momento, cada partícula posee una posición precisa y un momento preciso. Estos valores precisos, sostiene Bohm, son incognoscibles: son *variables ocultas*.

El mérito principal de la teoría de las variables ocultas -desarrolladas igualmente por otros teóricos, pero cuyo padre es básicamente D. Bohm-, consiste en que en ella es posible reproducir los resultados convencionales de la física cuántica. Sin embargo, la principal crítica que se le hace a esta teoría consiste en que el aparato matemático es altamente complicado, a diferencia de los modelos convencionales cuya matemática es, comparativamente, más sencilla. En cuanto a la base experimental de la teoría - no existe ningún rechazo de la misma, pero tampoco ninguna comprobación definitiva.

El nivel de la realidad en el que las partículas parecen estar separadas lo denomina Bohm el orden explicado. En contraste, el nivel en el que la separación desaparece y todas las cosas parecen convertirse en parte de una totalidad sin soluciones de continuidad es llamado por Bohm el orden implicado - o también orden implícito. Es claro que éste es un nivel de mayor profundidad de la realidad.

En rigor, las ondas piloto fueron formuladas por primera vez por L. de Broglie pero fueron abandonadas por la comunidad científica debido a las dificultades que planteaba la no-localidad. Por decir lo menos, podemos sostener que la época no estaba aún preparada para la no-localidad - una idea enojosa entre los primeros teóricos cuánticos. Pues bien, Bohm redescubre, por sí mismo, la idea de las ondas piloto.

### Cuando la ciencia y la filosofía vuelven a encontrarse

Como en el caso de Bohm, cuando el científico se adentra, con seguridad y propiedad en los dominios de la interpretación, se convierte, además, en filósofo: la interpretación es, manifiestamente, uno de los modos de vida de la racionalidad filosófica. Pues bien, David Bohm es habitualmente conocido como científico -físico con aportes fundamentales a la física cuántica- y como filósofo de la ciencia. La filosofía de la ciencia tiene aún una deuda con Bohm, quien fue desplazado del foco debido a la influencia poderosa de K. Popper.

La noción de variables ocultas de Bohm quiere restablecer la idea de realidad, si bien no en el sentido de Einstein, sino más próximo al de de Broglie, mientras avanza en el esclarecimiento de la naturaleza de la realidad. Este trabajo lo lleva a cabo Bohm fundamentalmente en dos libros: *La totalidad y el orden implicado*, publicado por primera vez en 1980, y *El universo indiviso* (*The Undivided Universe*), publicado originalmente en 1993 en colaboración con B. J. Hiley.

La posición filosófica de Bohm emerge, de manera puntual, a partir del problema de cómo interpretar el indeterminismo de los comportamientos cuánticos. Fundándose en los trabajos de Bohr, Bohm avanza en la dirección de una indivisibilidad de los procesos cuánticos, que es, justamente, la contribución de las variables ocultas.

Pues bien, el mérito de Bohm radica en haber conducido la mirada hacia el nivel subcuántico (adelantándose así en varios lustros a las investigaciones sobre el nivel subcuántico que incluye temas como las teorías brana y M-braña, la muy discutida teoría de cuerdas, presentadas de forma comprensiva y unificada en 1999 por B. Greene en *El universo elegante*). Es en el nivel subcuántico en donde debemos poder explorar un orden implícito ("implicado"), en el que el tiempo y el espacio no existen, y en donde el pasado, el presente y el futuro existen simultáneamente, y en donde no existe una distinción -propia del universo macroscópico, entre materia y conciencia-. El concepto en el que descansa, ulteriormente, ese orden implicado es el de holograma.

*"We proposed that a new notion of order is involved here, which we called implicate order (from a Latin root meaning 'to enfold' or 'to fold inward'). In terms of the implicate order one may say that everything is enfolded into*

*everything. This contrasts with the explicate order now dominant in physics in which things are unfolded in the sense that each thing lies only in its own particular region of space (and time) and outside the regions belonging to other things" (1980, 177).*

Y agrega inmediatamente, en referencia al holograma:

*"The value of the hologram in this context is that it may help to bring this new notion of order to our attention in a sensibly perceptible way; but of course, the hologram is only an instrument whose function is to make a static record (or 'snapshot') of this order. The actual order itself which has thus been recorded is in the complex movement of electromagnetic fields, in the form of light waves. Such movement of light waves is present everywhere and in principle enfolds the entire universe of space (and time) in each region (as can be demonstrated in any such region by placing one's eye or a telescope there, which will 'unfold' this content)" (ibidem).*

Elaborar interpretaciones acerca de la realidad como un todo, e introducir nuevos modos o modelos de significación es propio de la filosofía - en tanto que, por vía de contraste, llevar a cabo modelos de explicación rigurosos sobre niveles, escalas, dimensiones o sistemas de la realidad es propio de la actividad científica.

Pues bien, como sucede por lo demás en numerosos casos en ciencia, D. Bohm se nutre de la ciencia -la física cuántica en su caso-, avanza hacia niveles de explicación filosófica -en su caso, a través de la puerta de las variables ocultas-, y vuelve a la ciencia -siempre, en su caso, la física-, para afirmar un orden físico en el universo en el que, literalmente, la teoría de la relatividad y la teoría cuántica son sencillamente indicadores del mismo. Mientras que la mayoría de las miradas se han concentrado en las diferencias entre ambas teorías, Bohm llama la atención acerca de lo común que tienen ambas: se trata de una totalidad no-rotta (*unbroken wholeness*).

*"The notion of unbroken wholeness is, however, still of limited application in the theory of relativity, because the basic concept is that of a point event which is distinct and separate from all other point events. In quantum theory however there is a much more thoroughgoing kind of unbroken wholeness. Thus even in the conventional interpretations, one talks of indivisible quantum processes that link different systems in an unanalysable way. In principle, these principles should extend to the whole universe, but for practical purposes their effects can be neglected on the large scale, so that in some suitable classical approximation we can use a simplified picture of the world as made up of separate parts in interaction. But in our interpretation there is also the fact that because the quantum potential represents active information, there is a nonlocal connection which can, in principle, make even distant objects into a single system which has an objective quality of unbroken wholeness" (1993, 352).*

Dicho de manera rápida pero puntual: lo propio de la razón filosófica consiste en poner el dedo en paradojas, aporías, contradicciones y antinomias que,

eventualmente, pueden tener una solución. Pero cuando la tienen esa solución no es filosófica; es, además y principalmente, científica. Ambos caracteres se aprecian tanto en la obra como en la vida misma de D. Bohm.

La idea del orden implicado (o implícito) puede ser comprendida que una conexión existente entre todas las partes del universo, que no es directamente accesible desde el mundo macroscópico -debido fundamentalmente a que en este mundo reina la flecha del tiempo (en perspectiva de complejidad diríamos mejor la doble flecha del tiempo, la de la termodinámica y la de la evolución)-. Asimismo, puede ser entendida en el sentido de que el universo contiene, inscrita en todas y cada una de sus partes, información codificada sobre lo que está sucediendo en las otras partes<sup>22</sup>.

Los cálculos requeridos por el universo para llevar a cabo dichas conexiones son de una complejidad impresionante. De acuerdo con la crítica que se ha hecho de este concepto, implica, además, la idea de una cierta predestinación. Sin embargo, la mejor comprensión de la misma es, simple y llanamente, como la de una "totalidad fluida".

### Recapitulando: física cuántica, incertidumbre y complejidad

En vista de los comportamientos sorprendentes a la luz del modelo mecanicista clásico de los fenómenos cuánticos, Heisenberg introduce el concepto de "incertidumbre" con lo cual, como lo señala con acierto D. Lindley (2008), se desafiaron siglos de comprensión científica del mundo y de la realidad. En Marzo 1927, con veinticinco años de edad, Heisenberg oscilaba entre los conceptos de "inexactitud" e "indeterminación". Finalmente opta por el de "incertidumbre", bajo la presión de su mentor N. Bohr. En rigor, Heisenberg no introduce la incertidumbre en la ciencia, sino, más radicalmente, cambió la propia naturaleza y el sentido de la ciencia. La incertidumbre ya era conocida en ciencia; quizás el mejor caso más próximo a Heisenberg era el de los movimientos brownianos.

Pero, ¿cuál es el punto básico de discusiones en el marco de las interpretaciones de la física cuántica acerca de los fenómenos microscópicos y, ulteriormente, de la realidad? El tema de debate no era -y no sigue siendo- otro que el del papel de la causalidad - la vieja idea o creencia introducida por los griegos alrededor del siglo V a.n.e. y sistematizada por Aristóteles. Esta idea, con absoluta seguridad, constituye el punto arquimédico de toda la civilización o la cultura occidental.

<sup>22</sup> Uno de los seguidores de D. Bohm, R. Sheldrake profesor en la Universidad de Cambridge, habría extrapolado las ideas de Bohm con el desarrollo de la teoría de los campos mórficos y la resonancia mórfica. Numerosas críticas se han hecho al modelo de Sheldrake. Y no es enteramente cierto que exista una línea de continuidad necesaria en la que la responsabilidad de los campos mórficos sea enteramente de Bohm.

Los primeros experimentos de la física cuántica ponen, muy pronto, el dedo en la llaga, por así decirlo: se trata de los saltos cuánticos - de las partículas, y con ellos, de la dualidad onda-partícula. Ante este estado de cosas, el problema más difícil no era el de las ecuaciones y en general la del aparato matemático de la física cuántica. Por el contrario, el problema y el reto mayor provenían de las interpretaciones de las ecuaciones o de la matemática que soporta y describe a los comportamientos cuánticos. Ante este escenario, Bohr introduce una filosofía -y finalmente, todo un aparato lógico y semántico- de la complementariedad. De esta suerte, incertidumbre y complementariedad quieren arrojar nuevas y mejores luces sobre los temas que, por ejemplo, buscaba explicar Schrödinger.

El núcleo del debate acerca de la interpretación de Copenhague tiene que ver con la distinción entre el mundo cuántico microscópico y el aparato (o aparatos) macroscópicos que empleamos para llevar a cabo mediciones. El encanto, la fuerza o el prestigio de Bohr no debe ocultar el hecho de que, de todos los físicos fundadores de la teoría cuántica y de la mecánica cuántica, Bohr es quien, precediendo por lo demás a Bohm, lleva a cabo un trabajo de filosofía alrededor de las ideas de la teoría cuántica. Al respecto cabe hacer mención de dos textos: *Atomic Physics and Human Knowledge* de N. Bohr, publicado originalmente en 1961, y el libro *Physics and Philosophy*, de W. Heisenberg, de 1958.

En una explicación reciente acerca del trabajo de Bohm, dos autores sostienen que "la 'interpretación causal' de Bohm es una propuesta que introduce la no-linealidad en la teoría cuántica" (Briggs y Peat, 1994: 183). Si lo es, se trata, en verdad, de una de las tareas más difíciles que cabe pensar en ciencia en general, a saber: cómo convertir un fenómeno lineal, secuencial y mecánico, en uno no-lineal, no determinista y complejo. Buena parte de la discusión más reciente en ciencia pivota actualmente a este problema, y hay que decir que aunque el tema se dice fácilmente, es extremadamente difícil introducirle no-linealidad a un sistema, un fenómeno o un comportamiento lineal.

Las discusiones más actuales sobre las contribuciones, el significado, la investigación y la importancia de la teoría cuántica -más allá incluso de sus aplicaciones y contribuciones recientes y crecientes al mundo contemporáneo vía la ingeniería y la tecnología- apuntan a temas como la cosmología, el funcionamiento del cerebro, la comprensión de la vida, en fin, los problemas más acuciantes relativos al medioambiente, la salud y las comunicaciones. Pues bien, en todos ellos el tema de la incertidumbre, de la no-linealidad y de la existencia de mundos paralelos parecen ser temas transversales.

Bohm apuntó, como muy pocos científicos en la historia de la humanidad al esfuerzo por superar la principal enfermedad de occidente: el dualismo. La visión de Bohm es no-dualista y sin embargo, no por ello no es sistémica -lo cual,

hay que decirlo es otro mérito. Y sin embargo, tampoco alcanza a ser compleja en el sentido de las ciencias de la complejidad. No obstante, es importante observar cómo conoce e incorpora en su propio modelo -la interpretación causal de la teoría cuántica- trabajos de Prigogine (en particular el libro *Order out of Chaos*, que es el título en inglés del clásico escrito conjuntamente con I. Stengers de *La nueva alianza*) y el libro pionero de Mandelbrot de la *Geometría fractal de la naturaleza* (Bohm y Peat, 1988).

Sin embargo, en lo que sí es claro y directo Bohm es en la necesidad de integrar ciencia y arte - en el marco, precisamente, de un universo no-dividido. Esta idea encuentra, por otros caminos un puente de comunicación con la obra de un importante científico, también físico, pero con trabajo en termodinámica del no-equilibrio, E. Tiezzi. Para Tiezzi como para Bohm, no es evidente, en manera alguna, que la verdad tenga que triunfar siempre sobre la belleza y a costa o a pesar de la belleza - una idea de claro cuño platónico-aristotélico. Con Bohm podemos pensar la idea de un mundo que sea hermoso, y en el que, por consiguiente, la verdad se asimile a la belleza (Bohm y Peat, 1988). Exactamente en esto consiste su idea de la realidad como un gran holograma, una idea que demanda aún una consideración más cuidadosa.

### Conclusión: ¿Qué es interpretar, en ciencia?

K. Popper sostenía que los dos problemas más difíciles en ciencia son el problema de la inducción y el criterio de demarcación. El problema de la inducción se origina a partir de la obra de D. Hume y tiene que ver con el tema -ciertamente difícil- de la generación de conclusiones a partir de observaciones particulares. Así, por ejemplo, cuántas o cuáles observaciones particulares son necesarias o suficientes para poder elaborar una conclusión general de suerte que ésta tenga un fundamento empírico suficiente. Por su parte, el problema de la demarcación hace referencia al o los criterios que permiten distinguir claramente la ciencia de la pseudo-ciencia.

Pues bien, el mismo Popper sostuvo que él había resuelto el problema de la inducción. Tenía razón. La respuesta de Popper es elegante por lo sencilla: toda inducción es en realidad una deducción. En cuanto al problema de la demarcación - quedaba y queda aún sin resolver.

Quiero sostener, en esta misma línea de pensamiento, que otro problema difícil en ciencia es el del reto y el problema de la interpretación. Nada más escandaloso y complicado, nada más sensible y retador que atreverse a interpretar los datos y fenómenos; en fin, nada más amenazante y desafiante que proponer alternativas de interpretación a las interpretaciones clásicas y en boga. Exactamente esto es lo que conduce, en la filosofía de la ciencia, de Popper a Kuhn y nos sitúa exactamente en el debate entre ciencia normal y ciencia revolucionaria.

La historia de la ciencia y de la filosofía, en fin, en términos generales, la historia entera de la cultura humana, contiene numerosos casos que ilustran este reto y problema. No otra cosa fue lo que le sucedió, en la historia reciente, a G. Bruno y a Galileo Galilei frente al poder de la iglesia católica; no otra cosa es lo que sucede en el debate Leibniz-Wolf acerca del descubrimiento del cálculo infinitesimal; no otra cosa, en fin, es lo que sucede, a propósito del propio Popper, en el debate acerca del estatuto científico y epistemológico de la física cuántica, del marxismo, la teoría de la evolución o el psicoanálisis.

Existen tres formas de interpretación en ciencia, así:

- a) *Exégesis*. Desarrollada ya en la Edad Media, consiste en el instrumento dedicado a la interpretación rigurosa de las fuentes -clásicas- y en determinar si lo que, en general X dice de Y que Z es, es cierto con respecto a Y y a Z. La exégesis fue una herramienta de la lógica y la retórica medieval, y posteriormente es enseñada y practicada, con especial énfasis, en el estudio, formación y aplicación de derecho y de los abogados y juristas. En el detalle, la exégesis discute asuntos de puntuación y sentido, y en la espíritu, consiste en el esclarecimiento del significado y la verdad o falsedad de una interpretación apegada a un texto - usualmente escrito.
- b) *Hermenéutica*. Desarrollada inicialmente por el idealismo alemán en el siglo XIX, en particular por Schleiermacher, en el marco del debate entre el catolicismo y el protestantismo en su interpretación de la Biblia, pero con ella y desde ella, también en general referida al sentido mismo de la filosofía como ciencia universal, la hermenéutica termina a cabo convertida incluso en una herramienta de interpretación con finalidades de-constructivas de los grandes meta-relatos occidentales por parte de autores como J. Derrida y G. Vattimo, sin desconocer, desde luego las contribuciones de un autor como H.-G. Gadamer. En términos generales puede decirse que existe una hermenéutica blanda y una fuerte. Aquella consiste en el estudio y desciframiento de lo que un autor o un texto quiso decir verdaderamente aunque sólo lo haya insinuado, mientras que ésta es el trabajo creativo consistente en hacerle decir a un autor o a un texto aquello que no dice o dijo pero que podría legítimamente desprenderse de su texto mismo.

En general, la exégesis y la hermenéutica constituyen herramientas o instrumentos -por ejemplo lógicos- en los trabajos de interpretación y de formación de rigor académico.

- c) *Filosofía*. Un tercer acto o proceso de interpretación es la filosofía misma, ya sin actitud ni espíritu de herramienta o instrumento. El acto de interpretación es ya la obra de la propia razón filosofante, que se atreve a adoptar el estado normal de la ciencia -dicho en general- de una manera libre y crítica pero, con un cuidadoso trabajo, formula alternativas de explicación; que

son, ulteriormente, alternativas de acción y/o de experimentación. Tal es, exactamente, la actitud de D. Bohm.

Dicho de manera general: La ciencia por sí misma no basta -tanto como que la ciencia, abandonada a sí misma, resulta peligrosa - política, social, económica, militarmente. La buena ciencia va acompañada -y debe ir acompañada- de una reflexión acerca de la misma. El título genérico de esta reflexión es: filosofía. Digamos que la verdadera *buena gran* ciencia usualmente ha ido acompañada de la filosofía. Y que, correspondientemente, los buenos científicos han sido, además, filósofos. Es más, los grandes científicos se encuentran siempre en la historia de la filosofía aun cuando lo contrario no siempre sucede: que los grandes filósofos se encuentren en la historia de la ciencia.

El interés de una interpretación es directamente proporcional al tipo de actividad teórica que ella permite orientar de manera eficiente. Es cierto, en términos generales y a priori, que en principio frente a cualquier fenómeno determinado caben diversas interpretaciones. Las posibilidades de triunfo de una interpretación dependen de dos planos distintos, aunque paralelos:

- i) De un lado, en dependencia de si la nueva interpretación radical amplía los horizontes de la comprensión, posee una heurística especializada e ilumina campos no previstos o bien si los campos iluminados aparecen con nuevas luces y matices de significación que implican una ampliación del mundo en el que vivimos. Puede ser posible, como es efectivamente el caso de la mecánica Bohmiana, gracias al experimento de Bell, que un experimente consolide una interpretación o que incluso demande una distinta a las tradicionales. Esta primera posibilidad concierne al plano interno de un modelo o de una teoría.
- ii) Al mismo tiempo, sin embargo, en el plano externo a la ciencia, hay que decir que una interpretación puede triunfar sobre otras en dependencia de factores como poder, intereses, pero también, y muy importante, en dependencia del tiempo.

El lugar de D. Bohm en la historia de la ciencia tanto como en la historia de la filosofía comienza a decantarse cada vez más. Tanto más cuanto que se trata de un científico y un filósofo - con todo y que a numerosos científicos ponen nerviosos sus posiciones filosóficas.

Las interpretaciones son, hay que saberlo, un sistema abierto y vivo, cuando no se funda en criterios como autoridad, poder o interés. Sólo el tiempo establece el valor de verdad o el grado de belleza de una interpretación. Y la ciencia, como la vida, se juzga a largo plazo, algo que el senador McArthur nunca supo en su cacería de brujas.

Quizás las tres aristas más destacadas en la teoría cuántica sean el de la pluralidad de mundos y la existencia de universos paralelos, el de la unifica-

ción posible a escalas y en dimensiones microscópicas -en rigor cuánticas y subcuánticas- del cuadro entero de la realidad y la naturaleza, y el fenómeno del entrelazamiento. Las tres se encuentran estrechamente conectadas entre sí y se implican recíprocamente. Si ello es así, entonces la obra de D. Bohm merece, por así decirlo, una segunda consideración. Y su obra, finalmente, no es otra cosa que un acto auténtico y radical de interpretación: quizás el más difícil y arriesgado de todas las empresas en ciencia en el sentido más amplio e incluyente del término. En términos personales, el precio puede ser el del ostracismo y el exilio, como fue el caso de Bohm, y en términos teóricos e históricos, el silenciamiento durante un buen período de tiempo. No obstante, contra estos riesgos y costos, el rédito último no es nimio, a saber: contribuir a un mayor esclarecimiento acerca del mundo en el que vivimos y de lo que somos y podemos ser en él.

### Referencias

- Aczel, A. D., (2004). *Entrelazamiento. El mayor misterio de la física*. Barcelona: Crítica
- Bohm, D., (1989). *Quantum Theory*. New York: Dover Publications
- Bohm, D., (1980). *Wholeness and the Implicate Order*. London and New York: Routledge
- Bohm, D., y Peat, F. D., (1988). *Ciencia, orden y creatividad. Las raíces creativas de la ciencia y la vida*. Barcelona: Kairós
- Bohm D., and Hiley, B. J., (1993). *The Undivided Universe. An ontological interpretation of quantum theory*. London and New York: Routledge
- Briggs, J., y Peat, F. D., (1994). *Espejo y reflejo. Del caos al orden*. Barcelona: Gedisa
- Bruce, C., (2004). *Los Conejos de Schrödinger. Física cuántica y universos paralelos*. Biblioteca Buridán
- Deutsch, D., (1999). *La estructura de la realidad*. Barcelona: Anagrama
- Gribbin, J., (1998). *Q is for Quantum. An Encyclopedia of Particle Physics*. New York: The Free Press
- Lindley, D., (2008). *Uncertainty. Einstein, Heisenberg, Bohr, and the Struggle for the Soul of Science*. New York: Anchor Books
- Malin, S., (2001). *Nature Loves to Hide. Quantum Physics and the Nature of Reality, a Western Perspective*. Oxford: Oxford University Press

- Morris, R., (1997). *Achilles in the Quantum Universe. The Definitive History of Infinity*. New York: Henry Bolt & Co.
- Penrose, R., (2005). *The Road to Reality. A Complete Guide to the Laws of the Universe*. New York: Alfred A. Knopf
- Rae, A., (1986). *Quantum Physics: Illusion or Reality?* Cambridge: Cambridge University Press
- Sanchez Ron, J. M., (2001). *Historia de la física cuántica. I El período fundacional (1860-1926)*. Barcelona: Crítica
- Stapp, H. P., (1993). *Mind, Matter, and Quantum Mechanics*. Springer Verlag
- Talbot, M., (2000). *Más allá de la teoría cuántica. Las polémicas y audaces experiencias que desafían la teoría cuántica, desdibujando los límites entre física y metafísica*. Barcelona: Gedisa
- Tiezzi, E., (2006). *La belleza y la ciencia. Hacia una visión integradora de la naturaleza*. Barcelona: Icaria