



Facultad de Filosofía y Letras

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

CONSECUENCIAS EPISTEMOLÓGICAS DEL PRINCIPIO DE
INCERTIDUMBRE DE HEISENBERG

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN FILOSOFÍA

PRESENTA
MANUEL ARTURO GUDIÑO DÍAZ

DIRECTORA DE TESIS
DRA. FERNANDA SAMANIEGO BAÑUELOS

SUA(y)ED
Filosofía / Letras

Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central

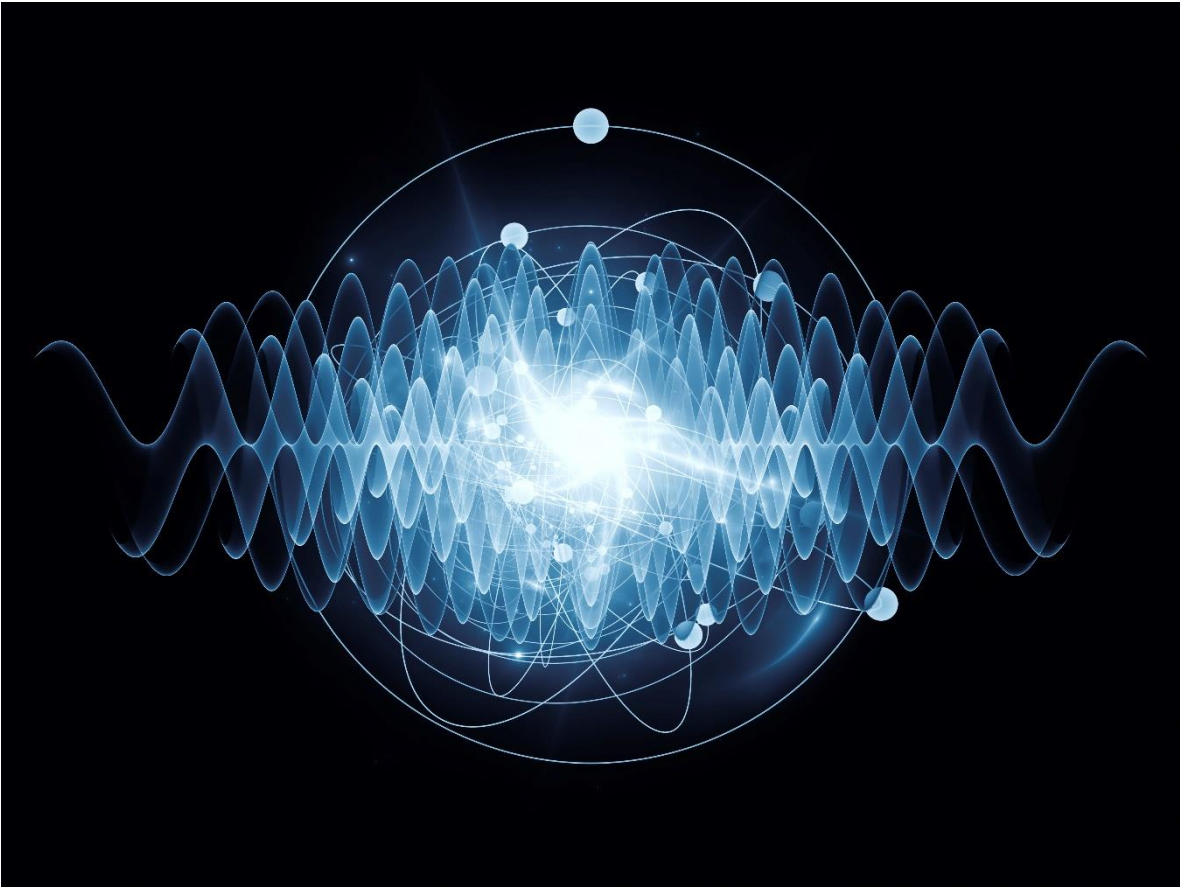


UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



A mi hijo Emiliano,
deseándole mucho éxito
en su desarrollo profesional

Para Sandy

A mis hermanos:
Queca, por su generosidad incondicional,
Rubén, por su perseverancia a toda prueba,
Jany, por su altruismo constante.

A mi querida amiga Rosario

A mis amigos Kato, Sergio y Juanito
cuyo apoyo ha sido oportuno en diversas circunstancias

A mis compañeros y amigos:

Andrea

Carlos

Gloria

Jesús

Joaquín

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO UNO: ¿HASTA QUÉ PUNTO ES POSIBLE LA CERTEZA EN EL CONOCIMIENTO?	6
CAPÍTULO DOS: RAÍCES FILOSÓFICAS EN LA BÚSQUEDA DEL CONOCIMIENTO ATÓMICO	17
CAPÍTULO TRES: LA INCERTIDUMBRE CUÁNTICA Y SU RELACIÓN CON LA FILOSOFÍA	35
CAPÍTULO CUATRO: RELACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE CUÁNTICA CON OTRAS DISCIPLINAS DEL CONOCIMIENTO	56
CONCLUSIONES	67
BIBLIOGRAFÍA	72

INTRODUCCIÓN

La presente tesis tiene como motivación inicial los temas estudiados en la materia de Filosofía de la Ciencia, especialmente en lo relacionado al modelo de cambio de paradigmas. Es, en primera instancia, un acercamiento a cómo las revoluciones científicas inciden en nuestra concepción del mundo. Fue así que, conforme mi interés se iba acotando en torno a este concepto, surgió la inquietud de revisar tanto la carga teórica como las referencias empíricas, respecto a la concepción de la naturaleza a través de distintas épocas de la historia.

En esta labor de análisis se incluyeron a filósofos presocráticos, al igual que a Platón, Aristóteles y eventualmente a Descartes; y por el lado científico a Newton, Bohr y Einstein, hasta llegar a la ruptura paradigmática más relevante de principios del siglo XX: la incertidumbre y el indeterminismo inherentes a la mecánica cuántica. Este fue justamente el punto nodal para desarrollar mi investigación, sobre todo en la manera en que la incertidumbre epistemológica estuvo presente en los planteamientos científicos de esa época.

La razón de este interés proviene de que, conceptos como determinismo y causalidad fueron materia de debate entre eminencias de la talla de Albert Einstein y Werner Heisenberg. Fue tal el antagonismo suscitado, que la ciencia física tuvo tres decenios turbulentos, y a la vez fructíferos, entre el inicio del siglo XX y el año de 1930. Aquel fue un momento muy interesante en la historia de la ciencia, en donde la relatividad y la mecánica cuántica se ubicaron en una polarización que daba visos de ser irreconciliable.

Como resultado de un mayor acercamiento a este tema, obtuve referencias bibliográficas muy interesantes, producidas por filósofos que han prestado una atención muy cuidadosa a la incertidumbre, asociada a la adquisición del saber. Es así que se analizaron los planteamientos de Descartes, Hume, Husserl, Locke, y desde luego las teorías ya referidas de Aristóteles y Platón en cuanto al conocimiento de la naturaleza.

En lo concerniente al trabajo de los científicos que protagonizaron esos “decenios turbulentos”, tuve el privilegio de consultar fuentes como el libro *Physics*

and Philosophy de Werner Heisenberg y la paradoja EPR (Einstein-Podolsky-Rosen) denominada: *¿Puede considerarse completa la descripción de la realidad física por parte de la mecánica cuántica?* A partir de este punto, y como un efecto natural, fue surgiendo la pertinencia de citar los postulados de Kant relativos a la causalidad, el espacio, el tiempo, las categorías y la cosa-en-sí. Resultó sorprendente el constatar que los físicos de la época estaban muy bien documentados respecto a los trabajos de Kant, con el fin de dar sustento filosófico a sus propias teorías.

Con base a lo anterior, se fue acotando cada vez más mi acercamiento al meollo del asunto, de tal manera que fueron delineándose los cuatro problemas sobre los cuales me interesaba disertar en este texto:

- 1) En la exploración del mundo atómico ¿puede encontrarse, a lo largo de la historia, una retroalimentación conceptual proveniente de la filosofía?
- 2) ¿Puede establecerse un vaso comunicante entre la incertidumbre epistemológica y la científica?
- 3) Si se acepta la incertidumbre como una característica inherente a la adquisición de conocimiento, ¿podemos concordarlo a la teoría y la praxis de la ciencia física?
- 4) ¿Puede la incertidumbre convivir funcionalmente en otras áreas del conocimiento, además de la física?

Más allá de que estas cuatro cuestiones pudieran representar un paralelismo entre el desarrollo de la ciencia y la filosofía, es también una retrospección hacia el punto de la historia en que había un vínculo claramente establecido entre ambas disciplinas, es decir, entre la vida contemplativa y la vida práctica. Se trata del punto en que la filosofía, a través de la *bíos theoretikós*, representaba el punto más alto para analizar la *bíos praktikós*. En esta convivencia complementaria de los dos tipos de vida, la naturaleza era analizada sin mayor problema por los grandes filósofos: Aristóteles en su *Física*, así como Platón en su *Timeo o de la Naturaleza* y en el *Teeteto o de la ciencia*.

Hoy en día puede constatarse tal vinculación entre la ciencia y la filosofía a través del pragmatismo, aunque no al grado tal que los científicos actuales pudieran afirmar, junto con Aristóteles, que “la *praxis* es útil pero la *theoría* es buena”, o que el punto más alto de la *praxis* es la *theoría*. Es poco probable que todos los científicos en el mundo estén de acuerdo con estos puntos de vista; sin embargo, en el periodo de tiempo en que nos ubicamos virtualmente para el desarrollo de esta tesis (principios del siglo XX), la discusión que se dio entre los físicos involucraba, no nada más la confrontación de conceptos científicos, sino también filosóficos.

Fueron tan interesantes las polémicas suscitadas por aquel entonces, que los físicos más renombrados se interesaron en convertir sus textos a un lenguaje que fuera entendido por la población en general. Este esfuerzo de divulgación y apertura implicó no solamente ponderar las implicaciones filosóficas de cada postura, sino también convertir el lenguaje científico a términos legos.

Aludimos así al hecho de que el hombre de ciencia (un físico, por ejemplo) se encuentra usualmente preparado para utilizar sus esquemas matemáticos en la interpretación de sus experimentos. Sin embargo, en su labor de divulgación debe ser también capaz de compartir sus resultados con gente ajena a la física, quienes no estarán satisfechos, a menos que se brinde una explicación en términos entendibles por cualquier persona.

Precisamente en estos términos es que está elaborado el presente trabajo; es decir, sin necesidad de abundar en las ecuaciones que sustentan cada una de las posturas aquí expuestas: tanto la determinista como la que proviene de la incertidumbre. Es así que, en los cuatro capítulos aquí incluidos, los términos epistemológicos conviven sin problema con los términos científicos utilizados, incluso cuando se hace alusión al sustento matemático involucrado.

En este sentido, el primer capítulo está completamente dedicado al análisis epistemológico de la incertidumbre, justamente como una reflexión preparatoria al análisis de la misma, desde la posición de la mecánica cuántica. En estas primeras páginas, llevamos a cabo un recorrido por las teorías filosóficas que han propuesto que la adquisición del conocimiento no tiene garantizada una certeza absoluta.

Antes de vincular la incertidumbre epistemológica con la cuántica, consideramos necesario explorar la posibilidad de que el conocimiento sobre la materia, concretamente a niveles atómicos, pudiera tener algunas referencias en el mundo de la filosofía. Por eso es que el segundo capítulo está dedicado a revisar los conceptos que tendrían cabida en ambas esferas del saber. Veremos que, desde los presocráticos y hasta llegar a Hume y los empiristas, varios de los planteamientos epistemológicos pueden ser referidos –a veces de manera directa– a términos de la física atómica.

Es válido mencionar que, al igual que en la ciencia, también en la filosofía se han tenido que adecuar los términos empleados, ante el surgimiento de métodos más precisos para conocer la naturaleza. Es así que, igual que con las categorías kantianas, el léxico elegido proporciona las condiciones previas de las experiencias posibles. Cabe anotar que las categorías léxicas de la ciencia moderna, a diferencia de sus antepasadas kantianas, pueden cambiar, y lo hacen tanto con el tiempo como con el paso de un paradigma a otro.

Esto nos prepara para que, en el tercer capítulo, estemos listos para revisar los argumentos en pro de una posible vinculación de la incertidumbre epistemológica con la teoría cuántica. Nuestro punto de discusión proviene del hecho de que, antes de la llegada de incertidumbre (es decir, con las teorías de la mecánica clásica) se habían asentado los conceptos de causalidad y certeza en la descripción de la naturaleza. Las teorías newtonianas del movimiento y gravitación trazaron el estándar para leyes determinísticas, por ejemplo, las aplicables a la localización y velocidad de cualquier cuerpo celeste en el sistema solar. Sin embargo, con la mecánica cuántica el determinismo de las leyes de la física parecía estar perdido.

Lo más relevante en el tercer capítulo es que, la preocupación epistemológica por la falta de determinismo y causalidad en la naturaleza, fue enarbolada por los científicos de principios del siglo XX. De esta manera, el hecho de que en la física clásica se hablara de distribuciones continuas de energía, y en cambio la física cuántica se refiriera a saltos inexplicables de los electrones, hizo que los físicos invocaran argumentos filosóficos de la época de Kant, Hume, e incluso de la época racionalista de Descartes.

El cuarto y último capítulo está dedicado a explorar si la incertidumbre se encuentra presente en otras disciplinas del conocimiento y si, consecuencia de ello, se observan resultados adversos (o no funcionales) en dichas disciplinas. Exploramos la posibilidad de que la incertidumbre sea una acompañante insoslayable para disciplinas como la propia física, la química, la biología, la psicología, el arte en general y, en particular, el cine y la literatura.

Antes de entrar en materia, podemos añadir que esta tesis contiene también elementos ontológicos, además de los epistémicos ya mencionados. Es decir, en el afán de delinear el proceso de adquisición de conocimiento, tanto los filósofos como los físicos aquí referidos, hacen una descripción de objetos físicos no fenoménicos que no son directamente accesibles a la sensibilidad, v. g., el electrón y sus órbitas. Obvia decir que estos objetos, o entes, son parte fundamental de la materia que se compone el Cosmos.

Asimismo, como ya explicaremos a su debido tiempo, la cuantificación de la energía (a través de la constante de Planck) está describiendo la estructura más elemental la naturaleza, como un componente común a todo el cosmos. Tal vez estemos hablando de la esencia ontológica a partir de la cual podemos describir la realidad perceptible. Es quizás el equivalente al fuego de Heráclito, o quizá el *arché*, o principio de todas las cosas.

CAPÍTULO UNO:

¿HASTA QUÉ PUNTO ES POSIBLE LA CERTEZA EN EL CONOCIMIENTO?

“A medio camino entre la fe y la crítica está la hospedería de la razón. La razón es la fe en lo que se puede comprender sin fe; pero es todavía una fe, porque comprender implica presuponer que hay alguna cosa comprensible”

Fernando Pessoa¹

Uno de los aspectos fundamentales para dar inicio a este análisis es el ver hasta qué punto podemos obtener certeza en la consecución del conocimiento. De entre todos los filósofos estudiados durante los distintos semestres de la licenciatura, de antemano podemos decir que ninguno sostiene que exista una certeza absoluta; sin embargo, una de las propuestas de esta tesis es explorar, de acuerdo a los postulados de algunos de esos filósofos, qué tan certeros podemos considerarnos respecto a nuestra asimilación de los objetos del conocimiento.

El error en una realidad cambiante

Es usual que una de las primeras frases que se vuelven significativas para los estudiantes de Filosofía es la socrática de “yo sólo sé que nada sé”. Si uno no llega a percatarse de que esta frase es característica de la humildad del sabio ateniense, podría pensarse que el “nada sé” deriva de que nada puede saberse; es decir, de un escepticismo a ultranza. Pero es el propio Sócrates el que posteriormente aclara: “todo genuino conocimiento se obtiene por el camino de la superación del error y la ignorancia; [...] el primer paso para ello consiste, en definitiva, en reconocer como tales el error y la ignorancia”.²

¹ Fernando Pessoa, *El libro del desasosiego*, Acantilado, Barcelona, 2002, p.195.

² Platón, *Apología de Sócrates*, Editorial Universitaria, Santiago de Chile, 2005, p. 24.

Por lo tanto, en primera instancia, nuestro camino hacia la certeza debe hacer a un lado el error y la ignorancia. Esto podría parecer obvio, pero piénsese la cantidad de siglos en que se vivió pensando que el Sol giraba alrededor de la Tierra. Generaciones enteras no tenían conciencia de que estaban persistiendo en el error y la ignorancia. ¿Podríamos, quizá, en pleno siglo XXI, tener “certeza” de algún fenómeno natural y años más adelante comprobar que estábamos en la ignorancia?

A este respecto, una de las herramientas más efectivas en la búsqueda del conocimiento es la Ciencia, misma que no está exenta del error, aunque se caracteriza, en forma general, por reconocer su falibilidad. Es por ello que

“el avance científico no es estrictamente acumulativo; no se trata de un avance inductivo en el que van deduciéndose nuevas leyes a partir de las anteriores, sino un camino con rupturas en el que las nuevas teorías no se deducen de las anteriores”.³

Por ejemplo, la astronomía relativista no surge directamente de la de Newton: se hace necesaria una fractura, que alcanza incluso a la certeza que solía tenerse de la geometría euclidiana.

Uno de los aspectos que dificultan nuestra certeza en el conocimiento es que los aspectos de la realidad son siempre cambiantes. Es a lo que Platón denomina el devenir. El punto de partida para esta crítica platónica es el postulado de Heráclito, y el mismo Protágoras, según la cual «todas las cosas son objeto del flujo y del cambio». En el diálogo platónico *Teeteto*, el extranjero de Elea declara que “tanto los cuerpos, como las verdades que de ellos se hablan, eso no es la realidad, sino apenas un cierto devenir fluctuante”.⁴ Esto significa que, en caso de que llegásemos a una certeza, ésta tendría una característica de inmanente. Ahora bien, según la concepción platónica es preciso suponer que el conocimiento estricto necesita referirse a entidades absolutas a las que llama Ideas. Platón afirma que la única alternativa al relativismo materialista es su teoría de las ideas.

³ Salvador Jara, *El ocaso de la certeza: diálogo entre las ciencias y las humanidades*, Fondo Editorial Morevallado, Morelia, 2010, p. 33.

⁴ Platón, *Diálogos*, Editorial Gredos, Madrid, 1988, p. 414.

El devenir y la incertidumbre

Sin necesidad de adoptar a pie juntillas la teoría platónica de las ideas, vemos que el devenir de la realidad es algo que ha sido comprobado incluso a nivel subatómico. Como señala Heisenberg en su **Principio de Incertidumbre**: “es imposible determinar simultáneamente con precisión ilimitada la coordenada de una partícula y la componente correspondiente de su momento”.⁵ Si, por otra parte, uno pretende tener un conocimiento preciso de las partículas, el proceso mismo de su medición genera incertidumbre, porque es imposible eliminar la interferencia entre el objeto que se mide y el aparato de medida. Medir, por lo tanto, es alterar lo medido.

Esta constatación del devenir y la incertidumbre nos llevan a pensar que estamos a medio camino entre la realidad y las apariencias. Como Aristóteles expone en su *Metafísica*: “la materia es un *esto* sólo en apariencia”.⁶ La apariencia sensible, es decir, el aspecto que la realidad muestra a los sentidos, no constituye la verdadera realidad de las cosas. Según Aristóteles, esa “verdadera realidad” de las cosas, si no se capta por los sentidos, se ha de captar por la razón.

Esto último nos lleva entonces a tratar de determinar qué es y cómo actúa la razón; sin embargo, sin llegar todavía a este punto, Aristóteles mismo nos brinda un camino para lidiar con la apariencia cambiante de las cosas. Se habla así de la sustancia perceptible y las cualidades cambiantes. La sustancia perceptible es una entidad por sí misma y es el soporte real sobre el que descansan todas las demás cualidades cambiantes de las cosas. Estas cualidades cambiantes son los accidentes (el color, la dureza de un material, su forma, su temperatura, etc.). Los accidentes existen sobre una base proporcionada por la sustancia: no existe el color blanco en abstracto, sino mesas blancas, papel blanco, pintura blanca, etc. Mientras la sustancia es un ser por sí mismo (*ens in se*), el accidente es un ser que necesita de otro para existir (*ens in alio*).

En ese análisis del devenir, Aristóteles mismo se pregunta:

⁵ Marcelo Alonso, *Mecánica Cuántica: Fundamentos y aplicaciones*, Ediciones Universidad de Salamanca, 2009, p. 45.

⁶ Aristóteles, *Metafísica*, Editorial Gredos, Madrid, 1994, libro XII p. 474.

“¿el estudio de la realidad se ocupará sólo de las entidades o también de los accidentes de éstas? Por ejemplo: si el sólido es una entidad y lo son también las líneas y las superficies, ¿el conocimiento de éstas pertenece a la misma ciencia que el (conocimiento) de los accidentes de cada uno de los géneros acerca de los cuales las matemáticas hacen demostraciones, o a otra?”⁷

Pareciera que nuestra búsqueda por la certidumbre pudiera llegar aquí a un punto significativo. Si observamos un cubo, por ejemplo, no nos importa tanto que sus aristas, caras y ángulos sean accidentes o sean parte sustancial del mismo. Después de todo, es muy probable que la certeza de estar ante un paralelogramo de seis caras pueda ser compartida con nuestros congéneres.

Bien podríamos incluso compartir una experiencia más audaz: la de sumergir nuestro cuerpo en una bañera y comprobar que recibimos un empuje, de abajo hacia arriba, igual al peso del volumen del agua que está siendo desalojada. Gritaríamos “¡Eureka!” con Arquímedes. Más aún, podríamos compartir este hallazgo con todo el mundo, pudiendo comprobarlo por doquier. Ni la sustancia acuosa, ni el accidente asociado con la forma de la bañera, impedirían que este experimento se repitiera a discreción.

Un método para recabar el conocimiento

Lamentablemente, esa certeza que parece estar más cercana a las Matemáticas y a la Física, no resultó convincente para muchos filósofos que vendrían después de la Grecia Clásica. Es de esta manera como Descartes decidió emprender por sí mismo la tarea de conducirse y buscar, según él, el verdadero método para llegar al conocimiento. Para este efecto, incluye entre los saberes necesarios a la filosofía, la lógica, las matemáticas, el análisis de los geómetras y el álgebra, así como a la lógica y sus silogismos. No obstante, el filósofo francés no concede a las ciencias una certeza absoluta, desdeñando incluso otros oficios que vendían la verdad con total convicción.

⁷ Aristóteles, *Metafísica*, libro III, p. 138.

Descartes tenía la intención de no dejarse “burlar ni por las promesas de un alquimista, ni por las predicciones de un astrólogo, ni por los engaños de un mago, ni por los artificios o la presunción de los que profesan saber más de lo que saben”.⁸ Es así como su método puede acercarnos a la certeza con mayor cautela:

- 1) “No admitir como verdadera cosa alguna, sin evidencia.
- 2) Dividir cada una de las dificultades en las partes que las componen.
- 3) Conducir ordenadamente los pensamientos, empezando por los objetos más simples.
- 4) Hacer recuentos integrales y revisiones generales de todos esos pensamientos”.⁹

Esa cautela cartesiana nos invita incluso a “rechazar como absolutamente falso todo aquello en que pudiera imaginar la menor duda”.¹⁰ Siendo famoso el filósofo francés por su escepticismo metódico, no podía dejar de lado su predilección por las Matemáticas y la Geometría. Es de esta manera como el sueño de Descartes era “excluir cualquier explicación no matemática de la naturaleza y de que la nueva ciencia pudiera reducirse a las matemáticas”.¹¹

A esta presencia de las Matemáticas y la duda metódica en la búsqueda del conocimiento se aúna el innatismo apoyado por Descartes. A este respecto, pensemos en la certeza que necesita un cirujano para efectuar una operación. En este caso no son las Matemáticas, sino la Anatomía, la que lo acerca al cumplimiento de su misión. Es muy probable, además, que ninguna idea innata sea relevante al momento de operar, porque la destreza del médico proviene de su experiencia.

Cabe mencionar que el propio Descartes era un gran estudioso de la Anatomía, afirmaba incluso que “la medicina y demás ciencias honran y enriquecen a quienes las cultivan”.¹² En cuanto a las ideas innatas ¿seguirán teniendo validez en el mundo contemporáneo, cada vez más complejo y dinámico? ¿Qué tanto esas ideas innatas

⁸ René Descartes, *El discurso del método*, Maxtor, Barcelona, 2008, p.5.

⁹ Ídem, p. 9-10.

¹⁰ *Ibíd.*, p. 16.

¹¹ Salvador Jara, *El ocaso de la certeza*, p. 25.

¹² René Descartes, *El discurso del método*, p. 4.

podrían ayudarnos a encontrar certeza en esta época de “lo nuevo”, en donde vivimos un cambio continuo, con la ilusión de que el progreso no tiene límites? Nuestra certidumbre se pone a prueba, día con día, ahora que “los modelos que hacemos de la realidad parecen quedarse siempre cortos y son rebasados rápidamente. Todo cambia a velocidad vertiginosa, somos un experimento de nosotros mismos”.¹³

Lo innato y la experiencia

Habría que ver a ahora el valor de esas ideas innatas que supuestamente nos acompañan en nuestro desarrollo, particularmente en nuestra adquisición de conocimiento. Sin entrar en la controversia de la *tabula rasa* de Locke, podríamos recurrir a la Psicología moderna para indagar qué tanto influye la herencia (de donde provendrían las ideas innatas) y qué tanto el ambiente, para definir nuestro nivel de desarrollo. Ciertamente, este no es el espacio para redundar en todo lo que implica ese nivel de desarrollo: psíquico, social, familiar, etcétera. Sin embargo, sí podríamos preguntarnos qué papel juega la herencia para nuestra adquisición de conocimientos, a través de los diversos procesos de aprendizaje en que nos vemos involucrados. El asunto es que

“uno de los grandes temas de interés de los psicólogos actuales es determinar si el mismo desarrollo del potencial hereditario es posible en cualquier etapa de la vida, o si se deben producir ciertos tipos de desarrollo en una etapa particular para que no se pierda permanentemente el potencial hereditario”.¹⁴

De lo anterior se deriva que las ideas innatas, en caso de ser comprobadas, no son suficientes para la adquisición de conocimientos y búsqueda de certezas. Para John Locke las ideas innatas resultan incluso inexistentes. Es en el medio ambiente donde aprendemos, a través de experiencias concretas, lo que determina nuestro nivel de conocimiento. Para Locke, el camino hacia la certeza es gradual. Las ideas “distintas” o “intermedias” tienen la misión de probar gradualmente la idoneidad del proceso intelectual: “son herramientas que la mente emplea en su trabajo con el fin

¹³ Salvador Jara, *El ocaso de la certeza*, p. 64.

¹⁴ Floyd L. Ruch, *Psicología y vida*, Editorial Trillas, México, 2000, p. 94.

de demostrar la certeza de cada uno de los pasos que habrán de conducir gradualmente hasta el conocimiento”.¹⁵

Esto parece tener mayor eco en el aprendizaje al que estamos acostumbrados en la vida cotidiana. Gradualmente, como expone Locke, es que aprendemos a hablar, caminar, convivir, dominar otros idiomas, conducir un auto, o a encontrarle aplicación práctica a los conocimientos de nuestra profesión. Gradualmente, también, es que los científicos han ido calculando la edad del universo (la cifra más aceptada es de 14 mil millones de años), o la edad del Sistema Solar, de la Tierra y la de la especie humana tal como la hoy la conocemos. No obstante, ningún hombre de ciencia se jacta de poseer una certeza absoluta acerca del Cosmos.

Esa gradualidad en la obtención de certidumbre, que involucra un procedimiento de ensayo y error, es muy importante para Locke. Es incluso el camino más sólido para evitar errores en el aprendizaje. Es así como recomienda que “el camino más seguro para un aprendiz es el no avanzar a brincos o en largos pasos; que lo que él se proponga aprender como paso siguiente, sea realmente el paso contiguo; es decir, tan cercano como sea posible de lo que ya conoce”.¹⁶

A pesar de confiar en estos pasos graduales para ir aproximándonos a la realidad, Locke mismo afirma que el empirismo paga altos precios en términos de certeza. En el ensayo y error no hay verdades, sino evidencias. El conocimiento tiene límites y con lo que debemos realmente contar, sobre todo en el ámbito práctico, es con la facultad del juicio, el cual consiste en “presumir que las cosas son de una determinada forma cuando nos las conocemos suficientemente; por lo tanto, el juicio versa sobre la probabilidad y produce la opinión. La probabilidad es la apariencia de certeza basada en pruebas que son siempre falibles”.¹⁷ Vemos cómo esta probabilidad de la apariencia nos hace acordar acerca del todavía vigente Principio de Incertidumbre de Heisenberg.

¹⁵ José María Lasalle Ruíz, *John Locke*, Universidad Carlos III, Madrid, 2001, 93.

¹⁶ John Locke, *The Works of John Locke*, Library of the University of California, 1824, Volume the Second, p. 387. Traducción propia.

¹⁷ Carlos Nieto Blanco, *Lecturas de Historia de la Filosofía*, Universidad de Cantabria, Santander, 1996, p. 176.

Locke estaba convencido de que las primeras impresiones tienen una fuerza primordial, pero también de que las facultades humanas tienen límites. Un observador que no cuenta con cierta experiencia respecto a estas limitaciones puede llegar a aceptar el testimonio de sus sentidos sin ponerlo en duda. Tiene una “vívida certeza” de que sus percepciones son correctas. Para desmentir esta falsa certidumbre, el propio Locke propuso un experimento en el año de 1690: “ponga una mano en una cubeta con agua caliente y la otra en agua fría durante cinco minutos; ahora ponga ambas en otra cubeta llena de agua fría; en una mano se sentirá el agua fría y en la otra caliente”. Como señaló Locke hace más de 300 años: “es imposible que la misma agua, si tales percepciones estuviesen realmente en ella, sea al mismo tiempo caliente y fría”.¹⁸ Vemos así que toda certidumbre, de acuerdo con estos postulados, tiene una dosis de subjetividad.

Una experiencia cuestionable

En ese proceso de recopilar evidencias provenientes de nuestro entorno estamos propensos a reconocer las limitaciones propias de nuestra percepción. Fue David Hume, alrededor de un siglo más tarde que Locke, quien afirmaría que todo conocimiento deriva, en última instancia, de la experiencia sensible. Sin embargo, el propio Hume advierte que nuestros sentidos son falibles, y así “corregimos frecuentemente nuestra opinión por la revisión y reflexión de los objetos que tenemos a primera vista [y] no es ésta la única corrección a que se hallan sometidos estos juicios de nuestros sentidos”.¹⁹ Significa que esas experiencias sensibles, que tanto valora Hume, tendrían que ser sometidas a procesos adicionales de confirmación para que nuestro juicio no se vea obnubilado.

El filósofo británico daba su debido valor a las ciencias para generar conocimientos acerca de la naturaleza, pero aun ese proceso científico de recopilación de evidencias puede tener sus fallas y más vale estar prevenidos: “en todas las ciencias demostrativas las reglas son ciertas e infalibles, pero cuando les aplicamos nuestras facultades falibles e inciertas, se hallan muy propensas a

¹⁸ Floyd L. Ruch, *Psicología y vida*, p. 239.

¹⁹ David Hume, *Tratado de la naturaleza humana*, www.dipualba.es/publicaciones, 2001, p. 51.

apartarse de ellas [de las reglas] y a caer en el error”.²⁰ De esto se deriva la importancia fundamental de establecer esas reglas que Hume considera ciertas e infalibles. Este es quizá uno de los puntos más críticos que mantuvo en disputa a científicos como Einstein y Heisenberg: el que las reglas de observación e inferencia pudieran o no admitir ciertos márgenes de error.

Tal vez Heisenberg llegó a sentir cierta satisfacción al constatar que Hume, un par de siglos antes que aquél, hizo alusión a una nueva incertidumbre derivada de la debilidad de la facultad que juzga: “percibimos claramente que no poseemos ningún instrumento o arte para medir que nos pueda asegurar contra nuestro error e incertidumbre”.²¹ Este es justamente uno de los puntos esenciales en el presente trabajo: el exponer a la incertidumbre como un elemento inherente a la recopilación de experiencias y conocimiento en nuestro entorno.

La fenomenología y el lenguaje

Respecto a la limitación de estas experiencias, años más tarde Edmund Husserl sostendría que “nada es cierto salvo el propio camino disolvente de la certeza [...] nada es cierto salvo la vida misma de la búsqueda de la certeza”.²² Siendo uno de los representantes principales de la fenomenología, Husserl consideraba la recopilación del conocimiento como una experiencia intuitiva en la que las cosas se muestran de la manera más originaria. Esta experiencia intuitiva toma las objetividades que se presentan a la consciencia como meros ejemplares que se obtienen por variación eidética, es decir, comparando varios objetos intencionales para destacar una esencia común.

Tomando en cuenta estos conceptos (experiencia intuitiva, variación eidética, objetos intencionales), la fenomenología de Husserl apuntar hacia una crítica a la recopilación de información de nuestro entorno, incluso a través de los métodos utilizados por las ciencias. Esta crítica lo llevaría a expresar que, por primera vez, “el suelo de conocimiento de todas las ciencias se pone en cuestión, tal como éste

²⁰ David Hume, *Tratado de la naturaleza humana*, p. 143.

²¹ Ídem, p. 52.

²² José Luis Villacañas, *Historia de la Filosofía contemporánea*, Ediciones Akal, Madrid, 1997, p.175.

vale con certeza incuestionable”.²³ La objetividad de la ciencia era visitada cada vez más por la incertidumbre.

Finalmente, uno de los filósofos más críticos respecto a la certeza resulta ser Wittgenstein, quien expone el papel que juega la creencia en dos ámbitos: por un lado, el de la propia certeza y, otro, el del juego del lenguaje. Es así como utiliza el verbo “creer” al menos de dos formas distintas: “en el fundamento de la creencia bien fundamentada se encuentra la creencia sin fundamentos”.²⁴ Al expresar nuestras creencias por medio del lenguaje “usamos las palabras ‘significar’, ‘creer’, ‘intentar’, de tal modo que se refieren a determinados actos o estados mentales en determinadas circunstancias dadas”.²⁵ Es así como la búsqueda de certeza en el conocimiento cuenta como ingredientes ineludibles al propio lenguaje y a la manera particular en que configuramos nuestras creencias.

Lo anterior no aplica solamente al hombre común, porque incluso los científicos configuran un lenguaje y unas creencias implícitas a sus labores de investigación. Se crean así modelos mentales e imágenes que inciden en la recopilación de información. De este modo, según Wittgenstein, “nuestros pensamientos se mueven en los alrededores inmediatos de la imagen que tuvimos o de la expresión que usamos”.²⁶ Esto no quiere decir, por supuesto, que deba excluirse la lógica del pensamiento científico.

En este sentido, cabe señalar que lo que le interesa a Wittgenstein

“no es la certeza subjetiva con la que expresamos nuestra convicción absoluta sobre un tema de cara a convencer a otras personas; la certeza que realmente le interesa es la certeza objetiva, es decir, aquellos casos en los que la posibilidad de error está lógicamente excluida”.²⁷

A pesar de que pudiera abrirse una puerta para la certeza donde la lógica nos ayude a excluir el error, Wittgenstein insiste en que “la convicción o certeza se halla

²³ Edmund Husserl, *La crisis de las ciencias europeas y la fenomenología trascendental*, Prometeo Libros, Buenos Aires, 2008, p. 119.

²⁴ Carlos Moya, *Sentido y sinsentido: Wittgenstein y la crítica del lenguaje*, Colección Filosofías, Madrid 2008, p. 54

²⁵ Ludwig Wittgenstein, *Los cuadernos azul y marrón*, Editorial Tecnos, Madrid, 2009, p. 188.

²⁶ Ídem, p. 228.

²⁷ Ibídem, p. 55.

tan arraigada en lo que decimos que no podemos alcanzarla; [...éste es] el carácter inefable de la certeza”.²⁸

Es así que, a través de este primer capítulo, hemos aportado elementos para mostrar que la incertidumbre es una característica inherente a la adquisición del conocimiento. No solamente nos hemos referido a una falta de certeza en el acto de conocer, sino a que también dicho acto puede ser propenso al error debido a que la misma realidad es cambiante. Es decir, si eventualmente pudiéramos tener certidumbre acerca de una parte de nuestro entorno, los cambios que se susciten en éste no garantizan una certeza futura.

De acuerdo a lo aquí expuesto, desde épocas clásicas se considera que la incertidumbre está asociada al devenir. Lo que gradualmente se ha ido postulando, e intentando mejorar, es un procedimiento efectivo para recabar el conocimiento. Siendo la Ciencia la manera más sistemáticamente exitosa para estructurar dicho conocimiento, su metodología se encuentra en constante renovación en cuanto a sus principios, leyes, y particularmente en el lenguaje y simbología utilizados.

Por otra parte, nuestra percepción del entorno no está del todo ajena a una fenomenología, en la que una descripción de las entidades presentes a la intuición intelectual no garantiza que se logre captar la esencia pura de dichas entidades. De igual manera, tampoco se ha logrado dirimir por completo la influencia de lo innato en la experiencia fenomenológica. Asimismo, esta experiencia no deja de tener elementos cuestionables, incluso si logramos sofisticar nuestras formas de adquirir el conocimiento.

²⁸ Id., p. 56.

CAPÍTULO DOS:

RAÍCES FILOSÓFICAS EN LA BÚSQUEDA DEL CONOCIMIENTO ATÓMICO

*“Lo que nosotros observamos no es a la naturaleza en sí,
sino más bien a la naturaleza
expuesta a nuestro método de cuestionamiento”*

Werner Heisenberg²⁹

En el capítulo anterior llevamos a cabo una revisión sucinta respecto a qué tan certeros podemos considerarnos en la asimilación de los objetos del conocimiento. Para ello exploramos algunos de los postulados filosóficos que se han centrado en este tipo de problemas. Una vez dado este paso, y antes de enfocarnos de lleno en las consecuencias epistemológicas del principio de incertidumbre de Heisenberg, vamos a efectuar un análisis de las raíces filosóficas en la búsqueda del conocimiento atómico.

A través de esta revisión que abarca distintas épocas, es el propio Heisenberg quien en su libro *Física y Filosofía* indaga el posible vínculo de la teoría atómica con la argumentación ontológica sobre la materia y la sustancia. Para este fin analiza las propuestas conceptuales de diversos pensadores, desde los presocráticos hasta llegar a Descartes y Kant, tomando en cuenta que “algunos postulados de la filosofía antigua son bastante cercanos a la ciencia moderna”.³⁰

La sustancia fundamental para los presocráticos

En el interés por la estructura de la materia, los presocráticos, de Tales a los atomistas, deseaban hallar un principio unificador de la mutabilidad universal de todas las cosas: “una sustancia cósmica que experimenta transformaciones, a partir de las cuales surgen todos los objetos individuales que pueden a su vez ser

²⁹ Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy*, p. 48.

³⁰ Ídem, p. 49.

transformados”.³¹ Es claro entonces que el concepto del átomo puede rastrearse más allá del inicio de la ciencia moderna en el siglo XVII, pues tuvo sus orígenes en la filosofía clásica griega.

Durante el siglo V a. C. los conceptos de ‘materia’, ‘ser’ y ‘devenir’ fueron difundidos por Leucipo y Demócrito. Sin embargo, desde el siglo anterior, Tales, el fundador de la escuela de Mileto, expresaba que el agua era la causa material de todas las cosas. Por más extraño que pudiera sonar hoy en día, y de acuerdo con Nietzsche (*La filosofía en la época trágica de los griegos*), este principio incluye tres ideas fundamentales de la filosofía: “el asunto de la causa material de todas las cosas, la controversia de si esta cuestión debería ser contestada en conformidad con la razón, haciendo a un lado lo místico, y el postulado de que debe ser posible reducir todo a un principio”.³²

No es difícil imaginar que el agua, como principio material de todas las cosas, tuviera como referencia empírica el comportamiento meteorológico del preciado líquido, ya que éste puede tomar muy diversas formas de acuerdo a la orografía del terreno. Los átomos, tan maleables como el agua, bajo condiciones adecuadas se combinan y recombinan para formar todos los elementos.

Sería Anaximandro, discípulo y continuador de Tales, quien negaría al agua o a cualquiera otra sustancia como el *arché*, o principio de todas las cosas. De acuerdo con las referencias que hacen a él otros filósofos como Aristóteles, Hipólito y Simplicio, Anaximandro declaraba que la sustancia primera era infinita, eterna, sin edad (*ápeiron*) y abarcaba al mundo, dando lugar a la separación de los contrarios por obra del movimiento eterno.

No cabe duda que el movimiento eterno y la separación de los contrarios (por ejemplo, la que se da entre cargas opuestas) son conceptos que no han perdido vigencia en la actualidad, incluso “los físicos de hoy están tratando de hallar la ley fundamental del movimiento para la materia, de la cual puedan derivarse matemáticamente todas las partículas elementales y sus propiedades respectivas”.³³

³¹ Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy*, p. 121.

³² Ídem, p. 34.

³³ Ibídem, p. 35.

Tiempo después vendrían, por un lado, Anaxímenes, el tercer filósofo de Mileto y discípulo de Tales y de Anaximandro, a proponer el aire como sustancia fundamental y, por otra parte, Heráclito de Éfeso a proponer el fuego. Particularmente en Heráclito “suena que el fuego confluya con la claridad, la sequedad, la finura, la liviandad y, en definitiva, con el conocimiento”.³⁴ En su lectura personal de Heráclito, Heisenberg propone que si se sustituye la palabra “fuego” por “energía”, podrían repetirse sus planteamientos palabra por palabra y darles un sentido moderno.

En efecto, para Heisenberg la energía es una sustancia en el sentido que le dan Tales, Anaximandro, Anaxímenes y Heráclito, puesto que la cantidad total de dicha energía no cambia. La energía es, pues, la sustancia de la que surgen todas las partículas y átomos, y “puede ser transformada en movimiento, calor, luz y tensión; la energía puede ser llamada la causa fundamental del cambio en el universo”.³⁵ El cambio constante que se da a través de la lucha de opuestos podría ser la tensión entre dos formas de energía.

Esa idea del cambio sería rechazada por Parménides como una mera ilusión, porque para este pensador lo que es, es UNO continuo y homogéneo. Este filósofo nacido en Elea escribió una sola obra: un poema filosófico en verso épico del cual se conservan solamente algunos fragmentos. En dicho poema y

“por boca de una diosa, pronuncia y funda la verdad del ser y la plena nulidad de la nada [por lo que] cabe suponer que esta imagen del mundo que Parménides desarrollaba habría quedado superada por el progreso científico que llegó después, y por esa razón fue descuidada por Platón y Aristóteles”.³⁶

A pesar de las objeciones de Platón y Aristóteles, Heisenberg reconoce la importancia de la unidad en el universo y asume que Parménides negaba la existencia del vacío por razones lógicas. Y puesto que todo cambio requiere al vacío, como el filósofo de Elea proponía, fue por lo que éste lo rechazó como una mera ilusión.

³⁴ Hans Georg Gadamer, *El inicio de la Sabiduría*, Ediciones Paidós, Barcelona, 2001, p. 27.

³⁵ Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy*, p. 37.

³⁶ Hans Georg Gadamer, *El inicio de la Sabiduría*, p. 11.

Más adelante el pensamiento de Empédocles revestiría una gran importancia para el desarrollo de la ciencia. De acuerdo con Heisenberg, el que el filósofo de Agrigento asumiera que los cuatro elementos (tierra, viento, fuego y agua) se mezclan y separan por la acción del amor y la lucha, representa el giro hacia un punto de vista más **materialista** en la filosofía griega. Para Heisenberg, Empédocles “expresa por primera vez la idea de que la mezcla y separación unas pocas sustancias, que son fundamentalmente diferentes, explica una infinita variedad de cosas y eventos”.³⁷

La imagen atomista del mundo

Todavía en aquel fructífero siglo V a.C. Anaxágoras enfatiza la idea de la mezcla de sustancias fundamentales, asumiendo la existencia de una infinita variedad de pequeñas “semillas” de las que están compuestas todas las cosas. Y es así como “en la teoría de los elementos de Empédocles y en el atomismo cualitativo de Anaxágoras puede reconocerse una proximidad con la imagen atomista del mundo”.³⁸ Había ya un solo paso de allí a la conceptualización del átomo por parte de Leucipo y Demócrito.

Gracias a estos dos pensadores, en los albores del siglo IV a.C., la antítesis del ser y no ser de la filosofía de Parménides sería secularizada a través de una concepción materialista: hacia una antítesis de lo completo y lo vacío. De esta manera, lo UNO se multiplicaba un infinito número de veces.

La aportación del atomismo al pensamiento helénico fue más trascendental de lo que pudiéramos pensar. Fue un golpe directo a la famosa frase de Tales de Mileto “todo está lleno de dioses”, pues con el atomismo “se reinterpreto esta frase (según parece) en la fórmula de un «ateísmo horrible», explicando que todo estaba lleno de aquella última realidad invisible de un enjambre de átomos”.³⁹ Por primera vez en la historia la filosofía llegó a plantear la unidad de materia más pequeña e indivisible, en donde el movimiento es posible gracias a los espacios vacíos.

³⁷ Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy*, p. 38.

³⁸ Hans Georg Gadamer, *El inicio de la Sabiduría*, p. 92.

³⁹ Ídem, p. 91.

Cabe aclarar que, para Demócrito, el espacio vacío entre los átomos no era la nada, sino más bien un ente portador de las propiedades de la geometría y la cinemática, lo que hacía posible los diversos arreglos y movimientos para los átomos. Los átomos de Demócrito eran de la misma sustancia que tenía la propiedad del ser, aunque tuviera diferentes formas y tamaños. Esto sería quizá un acercamiento entre la teoría atómica y la ontología, un hallazgo que nos acerca a la esencia del mundo material:

“así como la tragedia y la comedia pueden ser escritas usando las mismas letras del alfabeto, la gran vastedad de eventos en este mundo puede ser configurada por los mismos átomos a través de sus diversos arreglos y movimientos”.⁴⁰

De acuerdo con Heisenberg, el propio Demócrito llegó a declarar que las cosas tan sólo aparentan tener color, o aparentan ser dulces o amargas, porque solamente los átomos tienen una existencia real.

Siguiendo esta misma perspectiva atómica, Leucipo indicó que los átomos no se movían por pura aleatoriedad. En realidad, él creía en un cierto determinismo en el que nada sucede por qué sí, pues todo sucede por necesidad. Este podría ser quizá el primero de los postulados atómicos de la antigüedad que sería confrontado por el principio de incertidumbre de Heisenberg, en el que la necesidad y el determinismo son sustituidos por modelos probabilísticos.

Platón y el atomismo

Luego de esta época tan fructífera representada por los presocráticos, veamos ahora cuál era la posición de Platón respecto al atomismo. En breves palabras, diremos que este gran filósofo no era partidario de este planteamiento, por el contrario, “Diógenes Laercio reportó que a Platón le disgustaba tanto Demócrito, que hubiera querido quemar todos sus libros”.⁴¹ En su clara predilección por el mundo de las ideas, Platón desechaba la visión materialista propuesta por Demócrito, dando mayor preponderancia a aquéllas como “lo que siempre existe sin jamás haber nacido y lo que siempre está naciendo sin jamás llegar a existir”.⁴² Para

⁴⁰ Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy*, p. 41.

⁴¹ Ídem, p. 41.

⁴² Platón, *Diálogos: “Timeo o de la naturaleza”*, Editorial Porrúa, México, 2009, p. 311.

el filósofo ateniense, los átomos caían simplemente en el dominio de la opinión acompañada de sensación.

A través de su concepción de que la naturaleza es una copia del mundo de las ideas, Platón nos previene para que evitemos creer que es verdad lo que se ha generado como una mera imitación. La única existencia real es la del mundo ideal: “lo que la existencia es a la generación, es la verdad con relación a la creencia”.⁴³ Más allá de la perspectiva atómica de Demócrito y Leucipo, Platón parecía preferir la versión anterior de Empédocles de los cuatro elementos y, así, en el *Timeo* expresa que “nada puede ser visible sin fuego, ni tangible sin solidez, ni sólido sin tierra”.⁴⁴

Si algún precedente pudiera hallarse en el *Timeo* para las concepciones científicas que vendrían siglos después, éste versaría en torno a la visión determinista de la mecánica clásica. Platón, al referirse a los movimientos de los astros, los describe como “unos [con] órbitas mayores y otros [con] órbitas menores; y aquellos cuya órbita era menor fueron más de prisa, y menos veloces los que tenían una órbita mayor”.⁴⁵ Absolutamente impensable para Platón sería una visión atómica en donde se dan saltos cuánticos de una órbita a otra, sin una explicación que provenga de la necesidad determinística. Ni que decir tiene que el gran pensador ateniense excluía también la existencia del vacío, el cual es ahora indisputable en la teoría de los procesos electromagnéticos. Siglos después, el propio Einstein sostendría la hipótesis de que las fuerzas gravitacionales deben su existencia a las propiedades del espacio vacío.

Para cerrar esta comparación entre la propuesta atomista de Demócrito y Leucipo versus la visión idealista de Platón, he aquí lo que el filósofo ateniense expresaba respecto a los elementos constitutivos de la naturaleza:

“son tales la ciencia y el poder de la Divinidad, que para ellos es un juego el reunir una multitud de elementos y dividir después este todo en otra multitud de elementos, mientras que ningún hombre es ni será capaz de llevar a efecto ni la una ni la otra de estas operaciones”.⁴⁶

⁴³ Platón, *Diálogos: “Timeo o de la naturaleza”*, p. 312.

⁴⁴ *Ibidem*, p. 313.

⁴⁵ *Íd.*, p. 320.

⁴⁶ *Ídem* p. 351.

Podríamos decir entonces que la fisión nuclear moderna es una actividad anti-platónica por definición. Vale la pena mencionar, sin embargo, que a pesar de esta controversia Demócrito-Platón, Heisenberg tenía profundo respeto y admiración por el filósofo ateniense. Se dice que, siendo afecto a la filosofía, en los últimos años de su vida tuvo cerca de sí un ejemplar del *Timeo*.

Los números y la geometría en la naturaleza

Continuando con nuestro recorrido del conocimiento clásico, corresponde ahora mencionar la conexión que Pitágoras establece entre la naturaleza y las matemáticas. “Todas las cosas son números” es una frase atribuida a Pitágoras. Por ejemplo, todavía es válido su descubrimiento respecto a que dos cuerdas de un instrumento musical suenan en armonía, si es que sus longitudes guardan una cierta proporción. Esto es tan sólo una prueba, de cuánto significado pueden tener las matemáticas para el entendimiento, no sólo de la música sino también de los fenómenos naturales.

Pitágoras, al igual que Platón, consideraba que el descubrimiento de los sólidos regulares constituía un paso fundamental para entender el cosmos. El que tres de esos sólidos (tetraedro, octaedro e icosaedro) puedan ser contruidos a partir de triángulos, apuntaba a que la materia en la naturaleza podía recombinarse entre sí. Por ejemplo, un tetraedro y dos octaedros pueden separarse en veinte triángulos equiláteros, mismos que pueden recombinarse para configurar un icosaedro. Para los pitagóricos eso significaría que “un átomo de fuego y dos átomos de aire pueden combinarse para dar un átomo de agua”.⁴⁷

Los sólidos regulares no solamente incidieron en las teorías en torno a los átomos, sino también en la astronomía. Desde el tiempo de Pitágoras en el siglo VI a. C. y hasta llegar a Johannes Kepler en el siglo XVI d. C., los científicos consideraban que los astros tenían movimientos circulares. Incluso Galileo y Copérnico sostenían la idea de un movimiento circular uniforme para los planetas. Antes de que Kepler desarrollara sus tres leyes describiendo el movimiento elíptico de los astros, él mismo estaba atrapado en las teorías pitagóricas. En su tiempo, únicamente se habían

⁴⁷ Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy*, p. 43.

descubierto seis planetas y él lo relacionaba con que hubiera sólo cinco sólidos regulares, pues éstos, “inscritos o anidados uno dentro de otro, determinarían las distancias del Sol a los planetas, como si hubiera estructuras invisibles que sostenían sus esferas”.⁴⁸

Kepler tuvo que abandonar la teoría de los sólidos regulares para desarrollar (y comprobar empíricamente junto con Tycho Brahe) sus leyes astronómicas, mismas que serían el sustento posterior para la ley de gravitación universal de Newton. Esto daría validez teórica y experimental a la física clásica durante más de cuatro siglos. Paradójicamente, así como Kepler tuvo que distanciarse de la teoría de los sólidos regulares, los físicos de principios del siglo XX tuvieron que desapegarse de la física clásica para explicar las órbitas inestables asociadas a los electrones. Los saltos cuánticos simplemente no encajaban con los fundamentos de la física. Este es precisamente uno de los puntos medulares a cubrir en el próximo capítulo.

Lo cierto es que la presencia de los números y la geometría en la naturaleza, evidenciado por Pitágoras, no ha perdido del todo su vigencia. Cabe destacar que el uso moderno de la argumentación matemática le debe mucho al filósofo de Samos. De igual manera, él fue “el primero en utilizar la palabra Cosmos para indicar un universo bien ordenado y armonioso, un mundo capaz de ser entendido por el hombre”.⁴⁹ Asimismo, es necesario mencionar que Pitágoras privilegió la teoría sobre la experimentación, pues argüía que las leyes de la naturaleza podían deducirse por el puro pensamiento. En este sentido, las matemáticas eran la herramienta teórica por excelencia. Aunque, por otra parte, uno de los discípulos de Pitágoras, Alcmeón

“es la primera persona de quien se sabe que diseccionó un cuerpo humano; distinguió entre arterias y venas, fue el primero en descubrir el nervio óptico y las trompas de Eustaquio, e identificó el cerebro como la sede del intelecto, afirmación discutida por Aristóteles, quien puso la inteligencia en el corazón”.⁵⁰

Espacio y materia en Aristóteles

Retornando a aquel fructífero siglo IV a.C., sería Aristóteles quien concebiría la materia tangible como la imposición de la forma sobre una potencia, una “suerte de

⁴⁸ Carl Sagan, *Cosmos*, Editorial Planeta, Barcelona, 1982, p. 57.

⁴⁹ Ídem, p. 183.

⁵⁰ Ibídem.

esencia universal que abarca una posibilidad más que una realidad”.⁵¹ Como si fuera un prefacio a lo que siglos más tarde se conocería como el principio de conservación de la materia, Aristóteles escribiría en su *Física* que la materia “considerada como potencia, en sí misma no se destruye, sino que necesariamente es indestructible e ingenerable”.⁵² Nuestras nociones acerca de la realidad y la materia, por más sencillas que ahora pudieran parecer, no siempre fueron tan obvias, por lo que se fueron aclarando mediante un profundo esfuerzo intelectual.

A este respecto, Heisenberg subraya otro punto de contraste con la filosofía clásica en la que, como ya apuntamos, se sostiene que la sustancia o la materia no puede ser destruida. El científico alemán menciona que existen experimentos en la física moderna en los que las partículas elementales, como los positrones y los electrones, pueden ser nulificados o transmutados en radiación. Sin embargo, el mismo Heisenberg menciona también que,

“si quisiéramos expresar nuestra experiencia moderna en el lenguaje de los filósofos de la antigüedad, uno podría considerar la masa y la energía como dos formas diferentes de la misma ‘sustancia’ y de este modo mantener la idea de sustancia como algo indestructible”.⁵³

Desde luego que no podría esperarse que los filósofos de cientos de años atrás pudieran haber previsto el desarrollo de la física moderna, con los aspectos cuánticos y relativistas que hoy en día les son familiares a los científicos.

Continuando con nuestro análisis, es claro que Aristóteles estaba al tanto de los planteamientos de Demócrito, llegando así a comentar que

“todos los que estudian la naturaleza ponen como sujeto del infinito una naturaleza que es distinta de los llamados «elementos», como el agua o el aire o algo intermedio [...] y cuantos ponen infinitos elementos, como Anaxágoras con las homeomerías y Demócrito con la panspermia [semillas, átomos] de las figuras, afirman que el infinito es un continuo por contacto”.⁵⁴

Lo interesante aquí es que la idea de infinito, rechazada por Aristóteles, es contrastada con los conceptos atomistas de Demócrito. Si bien está claro que el

⁵¹ Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy*, p. XV.

⁵² Aristóteles, *Física*, Editorial Gredos, Madrid, 1995, p. 41.

⁵³ Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy*, p. 93.

⁵⁴ Aristóteles, *Física*, p. 89.

estagirita no aceptó del todo la teoría atomista, también es claro su rechazo a la concepción de una existencia infinita de materia: “el principio infinito de Demócrito, según Aristóteles, no sería la multiplicidad infinita de átomos moviéndose en un vacío infinito, sino más bien «el cuerpo común» (*tò koinòn sôma*) de todos los átomos”.⁵⁵

En la filosofía de Aristóteles el espacio total del universo es finito e incluye a la Tierra, el Sol y las estrellas, es decir, un número limitado de cuerpos. Más allá de la esfera de las estrellas no hay espacio, por lo tanto, el espacio del cosmos es finito. Por otra parte, para Aristóteles el vacío es imposible de imaginar, pues el movimiento en un vacío es infinitamente rápido:

“lo que la gente entiende por vacío, es más bien una extensión en la que no hay ningún cuerpo sensible [sin embargo] no hay una extensión separable y actual que sea distinta de los cuerpos, sea que divida el cuerpo total de tal manera que rompa su continuidad (como afirman Demócrito, Leucipo y muchos otros fisiólogos), o que se encuentre fuera de todo el cuerpo continuo”.⁵⁶

En su teoría de la continuidad de la materia Aristóteles expone que, si existieran los átomos esféricos habría un vacío entre ellos, por lo que la materia no podría ser atómica. Vale la pena mencionar que la materia para Aristóteles no es algo específico como el agua o el aire. Es más bien “una especie de sustrato corpóreo indefinido que abarca la posibilidad de convertirse en realidad a través de la forma”.⁵⁷ Esto no está muy lejano a la “plasticidad” de las partículas subatómicas, que son capaces de convertirse en cualquier elemento de la tabla periódica.

Mirando con tiento este alejamiento conceptual entre Aristóteles y la teoría atomista, aun así, y como ya mencionamos, Heisenberg declaró que algunos postulados de la filosofía clásica están muy cercanos a la ciencia moderna. Para él, esto demuestra qué tan lejos puede llegarse al combinar nuestra experiencia, así como la percepción ordinaria, de la naturaleza “sin hacer experimentos y con el esfuerzo incansable de buscar algún orden lógico dentro de esa experiencia, de tal modo que podamos entender los principios generales de la naturaleza”.⁵⁸ No hay

⁵⁵ Aristóteles, *Física*, p. 90, nota al pie de Guillermo R. de Echandía.

⁵⁶ *Ibidem*, p. 132-133.

⁵⁷ Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy*, p. 122.

⁵⁸ *Ídem*, p. 49.

que olvidar que, en los primeros siglos de la cultura clásica griega, el mayor impulso en la búsqueda del conocimiento provenía de la realidad inmediata del mundo percibida por nuestros sentidos.

Luego de este recorrido por la Grecia Clásica, Heisenberg da un salto hasta la órbita renacentista, pues considera que en la Edad Media el estudio del alma tiene más preponderancia que el estudio de la naturaleza. De esta manera “la conexión inmediata con Dios ocurre dentro del alma humana, y no en el mundo, y este es un problema que ocupó el pensamiento humano más que ningún otro en los años del medioevo”.⁵⁹

La res cogitans en Descartes

En búsqueda de sustentos filosóficos para sus propias teorías, Heisenberg considera que el primer gran filósofo del Renacimiento del siglo XVII es René Descartes, quien, tomando como base la duda y el razonamiento lógico, trata de encontrar una base completamente nueva para un sistema sólido de pensamiento. Mientras que la filosofía clásica había tratado de encontrar

“un orden en una infinita variedad de objetos y eventos mediante la búsqueda de un principio fundamental unificador, Descartes trata de establecer el orden a través de una división fundamental”.⁶⁰

Por otro lado, fue Descartes quien llamó la atención respecto a que las ciencias naturales solamente se habían concentrado en la *res extensa* y no en la *res cogitans*. Este es precisamente un elemento básico en la teoría de Heisenberg: **la intervención del individuo** (y sus instrumentos de medición) en el conocimiento de la naturaleza.

El individuo, como poseedor de la *res cogitans*, puede avocarse a desmenuzar la realidad en la que “se exponen todos los errores que proceden de los sentidos [... en cuanto a] la existencia de las cosas”.⁶¹ Claro que para esa *res cogitans* el primer objeto de conocimiento es ella misma, por eso es que el propio Descartes

⁵⁹ Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy*, p. 51.

⁶⁰ *Ibidem*, p. 52.

⁶¹ René Descartes, *Meditaciones metafísicas*, Panamericana Editorial, México, 2006, III-53.

declara que “nada es más fácil de conocer que mi espíritu”⁶². Este enfoque, quizá solipsista, no demerita el método analítico que Descartes propuso para conocer la realidad, es decir, el mundo de la experiencia y las sensaciones.

Gracias a los principios del método cartesiano aplicados a la ciencia, especialmente a la mecánica, llegó a excluirse toda “relación de los fenómenos físicos con fuerzas espirituales y, de este modo, la materia (*res extensa*) podía ser considerada como una realidad independiente de la mente (*res cogitans*) y de cualquier poder supernatural”.⁶³ Qué mejor ejemplo que la propia geometría analítica cartesiana como una *res extensa*, muy cercana a los anhelos de objetividad del racionalismo.

Otra aportación importante del método cartesiano, de acuerdo con Heisenberg, es el interés creciente en las matemáticas a favor de un sistema filosófico que parte del razonamiento lógico y trata metódicamente de llegar a alguna verdad, tan cierta como una conclusión matemática. No olvidemos que a partir de Descartes el racionalismo sería un gran compañero del avance científico, comprendiendo aquél como “la actitud de quien se confía a los procedimientos de la razón para la determinación de creencias o técnicas en un campo determinado”.⁶⁴

Cabe añadir que Descartes no está de acuerdo con los conceptos de atomismo ni de vacío. Si bien para el pensador francés “existen componentes últimos de los cuerpos [... debe también haber] un límite real o efectivo impuesto a la división de las partes materiales”.⁶⁵ No obstante, ese límite no es para Descartes el definido por Demócrito y los atomistas. A este efecto, es importante mencionar la polémica entablada entre Henry More y Descartes en torno a

“las postulaciones de la inmensidad de Dios en términos de extensión (More) y en términos de infinitud intensiva (Descartes) y la disputa con respecto a la amplitud de la denotación de ‘espacio’: sólo se aplica a la materia (la *res extensa* cartesiana) o bien, tanto a la materia como al espíritu (Henry More)”.⁶⁶

⁶² René Descartes, *Meditaciones metafísicas*, II-17.

⁶³ Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy*, p. 122.

⁶⁴ Nicola Abbagnano, *Diccionario de Filosofía*, Fondo de Cultura Económica, México, 2012, p. 882.

⁶⁵ Laura Benítez, *El mundo en René Descartes*, UNAM, México, 1993, p. 117.

⁶⁶ Laura Benítez y José Antonio Robles, *El espacio y el infinito en la modernidad*, Publicaciones Cruz, México, 1993, p. 48.

Más allá de si la ubicuidad divina es extensiva (More) o intensiva (Descartes), lo relevante para el tema que nos atañe es que Descartes afirmaba que, debido a su omnipotencia y omnisciencia, “Dios no necesita estar en algún lugar para producir un efecto pues, por una parte, sabe dónde actuar y, por otra, puede hacerlo sin tener que estar en lugar alguno”.⁶⁷ Esto pudiera explicar el desinterés que Descartes demostró en torno al mundo invisible de lo diminuto. Es decir, tal parece que podríamos estar tranquilos y no pensar en los átomos, porque Dios está a cargo de ese asunto. Por su parte, en la divinidad extensiva de More había cabida para una cuarta dimensión espacial (*Spissitude*) en la que creía que se extendía el reino espiritual. Uno y otro pensador están claramente alejados de la concepción materialista de Demócrito y Leucipo.

El empirismo británico

Tiempo después, ya en el siglo XVIII, vendrían los grandes filósofos representantes del empirismo (Locke, Berkeley y Hume), quienes sostendrían que todo conocimiento se fundamenta en la experiencia. Además de las referencias que hicimos a Hume en el capítulo anterior, y aunque el estudio del átomo estaba apenas en ciernes en aquella época, podemos añadir que este filósofo llegó a mostrar curiosidad por aquel micro-mundo, pues no deja de actuar “la debilidad e inestabilidad natural de nuestra imaginación y nuestros sentidos, cuando se dirigen a tales objetos diminutos”.⁶⁸

Respecto a Berkeley, podemos mencionar que él daría un paso adelante en la teorización, concerniente a los objetos que no podemos percibir directamente por los sentidos. Este pensador irlandés argumentaba al respecto que, si realmente todo conocimiento es derivado de nuestras percepciones, “no es significativo el declarar que las cosas realmente existen, porque si la percepción es un atributo dado a los sentidos, éstos pueden no diferenciar si los objetos realmente existen”.⁶⁹ Nuevamente aparece la incertidumbre proveniente de la imperfección de nuestros sentidos.

⁶⁷ Laura Benítez y José Antonio Robles, *El espacio...*, p. 49.

⁶⁸ David Hume, *Tratado de la naturaleza humana*, p. 47.

⁶⁹ Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy*, p. 58.

En este momento resulta pertinente mencionar la *tabula rasa* expuesta por John Locke en su *Ensayo sobre el entendimiento humano*. A través de esa metáfora se aduce a favor de que no hay ningún conocimiento innato en nuestra mente, porque todo conocimiento proviene de la experiencia:

“Supongamos entonces que la mente, como ya dijimos, es como un papel en blanco sin ningún tipo de signos o ideas sobre él. ¿Cómo es pues que la mente ha podido ser revestida? ¿De dónde proviene la variedad incontable de colores con el que se le ha estado decorando, gracias al afán incansable e ilimitado del hombre? ¿De dónde proviene toda la materia para la razón y el conocimiento? A esto, yo respondo, en una palabra, que todo proviene de la EXPERIENCIA”.⁷⁰

Además de su aportación del concepto de *tabula rasa*, en favor de la experiencia como factor fundamental en la adquisición de conocimiento, Locke hizo algunas incursiones en el campo de las ciencias naturales, donde “prácticamente se limitó a rendir honores a los resultados obtenidos por el *modus operandi* de la nueva ciencia que cultivaban científicos como Boyle o Newton”.⁷¹ No es gratuito que Locke pusiera su confianza, tanto en los conceptos, como en el método matemático analítico desarrollado por Newton. Dichos conceptos no estarían tampoco tan alejados de los postulados epistemológicos contenidos en la *Crítica de la razón pura* de Kant.

Convergencias entre Kant y Newton

Para concluir este análisis de las raíces filosóficas en la búsqueda del conocimiento atómico, cabe mencionar que reservamos gran parte de las referencias a Kant para el próximo capítulo, justamente por la controversia que se genera entre su filosofía y el principio de incertidumbre de Heisenberg. Sin embargo, podemos adelantar que la cuestión del espacio vacío no era para Kant totalmente refutable. El filósofo de Königsberg no pretendía rebatir el espacio vacío, “ya que éste puede existir en lugares a donde no llegan nuestras percepciones y donde, consiguientemente, no tenemos ningún conocimiento empírico acerca de la

⁷⁰ John Locke, *Essay Concerning Human Understanding*, Hernnstein & Murray, Londres, 1994, p.311. Mayúsculas resaltadas en el original.

⁷¹ John Locke, *La conducta del entendimiento y otros ensayos póstumos*, Editorial Anthropos, Barcelona, 1992, p. XLII.

coexistencia”.⁷² Por supuesto que no deja de ser fascinante el conjeturar lo que Kant pensaría respecto al conocimiento empírico, que en la actualidad se tiene acerca del espacio vacío.

En cuanto al asunto de lo infinito, éste pertenece a lo que Kant llama antinomias, en donde se da una contradicción entre dos principios racionales: el espacio no puede ser finito, puesto que no podemos imaginar que puede haber un límite para dicho espacio; sin embargo, al mismo tiempo el espacio no puede ser infinito porque éste es algo que podemos imaginar, y no podemos imaginar un espacio infinito. Y así, puesto que el espacio puede “ser pensado como si encerrase en sí una infinita multitud de representaciones, la originaria representación del espacio es intuición a priori y no concepto”.⁷³ El que lo infinito no sea un concepto significa que no tiene que derivarse ni proceder de la experiencia empírica.

Resulta significativo referirnos nuevamente a Newton, por la cercanía que tiene con Kant en cuanto a sus concepciones del tiempo y el espacio. Para Kant, el espacio, como forma pura de la sensibilidad, “es una intuición independiente y a priori de las experiencias externas, y a su vez es condición de posibilidad de los fenómenos externos”.⁷⁴ En cuanto al tiempo, éste es también una forma pura de la intuición sensible y, a diferencia del espacio que sólo es condición de posibilidad de los fenómenos externos, “el tiempo es una condición a priori de todo fenómeno en general y es condición inmediata de los fenómenos internos (de nuestra alma) y precisamente por ello condición inmediata también de los fenómenos externos”.⁷⁵

Otros dos conceptos pertinentes son el de **magnitud** y **número**. La primera es para Kant “la categoría de la síntesis de lo homogéneo [...] a la que ha de conformarse la síntesis de la aprehensión, es decir, la percepción”⁷⁶. Por su parte, el número es “el esquema puro de la magnitud (*quantitas*) [...] el cual constituye una representación que comprende la sucesiva adición de unidades homogéneas”.⁷⁷ Si, por ejemplo, con un termómetro realizamos una medición de 36 grados Celsius de

⁷² Immanuel Kant, *Crítica de la razón pura*, Editorial Taurus, México, 2013, p. 238.

⁷³ Ídem, p. 69.

⁷⁴ Ibídem, p. 68.

⁷⁵ Íd., p. 77.

⁷⁶ Ibídem, p. 173.

⁷⁷ Ídem, p. 185.

temperatura, la magnitud llamada 'temperatura' es una síntesis de lo que de manera homogénea identificamos como movimiento cinético de las partículas. Los 36 grados es una adición sucesiva de unidades, también homogéneas, que se configuran en torno a los planteamientos teóricos del físico matemático Nils Celsius.

Abordando ahora los conceptos newtonianos de espacio y tiempo, tenemos que, en sus *Principios matemáticos de la filosofía natural*, el físico inglés afirma lo siguiente:

“El espacio absoluto, por su naturaleza y sin relación a cualquier cosa externa, siempre permanece igual e inmóvil; el relativo es cualquier cantidad o dimensión variable de este espacio, que se define por nuestros sentidos según su situación respecto a los cuerpos, espacio que el vulgo toma por el espacio inmóvil”.⁷⁸

Es conveniente resaltar que Kant se basa en los conceptos newtonianos, en cuanto que el espacio es una condición a priori de las experiencias externas. Es decir, al dimensionar a priori una porción variable de ese espacio, estamos aceptando su condición de posibilidad para los fenómenos externos. Y respecto al tiempo, Newton lo presenta con la misma característica que el espacio absoluto, a saber, que no se relaciona con nada externo:

“El tiempo absoluto, verdadero y matemático en sí por su naturaleza y sin relación a algo externo, fluye uniformemente, y por otro nombre se le llama duración; el relativo, aparente y vulgar, es una medida sensible y externa de cualquier duración, mediante el movimiento (sea la medida igual o desigual) y de la que el vulgo usa en lugar del verdadero tiempo; así, la hora, el día, el mes, el año”.⁷⁹

Por no tener una relación con algo externo, el tiempo es una condición a priori de todo fenómeno en general. Fluye uniformemente como condición inmediata de los fenómenos externos, manifestándose como duración que puede medirse en forma sensible. Lo que Kant añadiría a la definición newtoniana es que el tiempo es también condición inmediata de los fenómenos internos del alma. De este modo, y a diferencia de Newton, Kant sí contempla los fenómenos internos.

Por otra parte, si bien para Newton el tiempo no es una forma pura de la intuición, sí es en cambio una magnitud (síntesis de lo homogéneo) que se presenta

⁷⁸ Isaac Newton, *Principios matemáticos de la filosofía natural*, Editorial Alianza, Madrid, 2004, p. 127.

⁷⁹ *Ibidem*, p. 127.

independiente de cualquier objeto. Cabe resaltar, sin embargo, una diferencia importante: de acuerdo con Newton (i.e., con la física clásica), si el ser humano no existiese, el espacio y el tiempo seguirían existiendo. En cambio, para Kant no existen espacio ni tiempo sin un sujeto pensante, pues son formas puras de la intuición sensible.

Este es precisamente un punto crítico que separa las teorías relativista y cuántica. Para Einstein la naturaleza puede ser descrita mediante ecuaciones precisas, independientes del sujeto que la observa. Por su parte, y como lo mencionamos en el epígrafe, Heisenberg postula que “lo que nosotros observamos no es a la naturaleza en sí, sino más bien a la naturaleza expuesta a nuestro método de cuestionamiento”. Éste y otros conceptos serán tratados a detalle en el capítulo tres.

Continuando con Newton y Kant, otro vínculo conceptual entre ambos pensadores es que conciben al tiempo y al espacio como infinitos (a pesar de la antinomia) e ilimitados. Asimismo, en la distinción que Kant señala entre fenómenos y noúmenos, el filósofo alemán describe a la astronomía contemplativa “de acuerdo a las leyes newtonianas de la gravitación, como representante del mundo inteligible, [...] en tanto que una interrelación de fenómenos [astronómicos] pensados según leyes universales del entendimiento”.⁸⁰

Quizá el punto en común más importante entre estos dos pensadores es el de la **causalidad**. En Newton ésta se encuentra expresada muy claramente en su segunda ley de la Dinámica: “el cambio de movimiento es directamente proporcional a la fuerza motriz impresa y ocurre según la línea recta a lo largo de la cual aquella fuerza se imprime”.⁸¹ Por su parte, para Kant

“la causalidad constituye la condición de validez objetiva de nuestros juicios empíricos [...] puede ser intuida por los sentidos y se encuentra contenida en el fenómeno [...] además de que] según una regla universal, la causalidad recíproca de las substancias con respecto a sus accidentes es la simultaneidad de las determinaciones de uno con las de otro”.⁸²

⁸⁰ Immanuel Kant, *Critica de la razón pura*, p. 274.

⁸¹ Isaac Newton, *Principios matemáticos*, p. 199.

⁸² Immanuel Kant, *Critica de la razón pura*, p. 229.

Justamente gracias a este concepto de causalidad, tan relevante para Newton como para Kant fue que, de acuerdo con Heisenberg, “pudieron configurarse modelos del universo, imágenes cosmológicas cuyas consecuencias pueden ser comparadas con los hechos empíricos” o, parafraseando a Kant, con los fenómenos que son percibidos en el espacio y el tiempo, formas puras de la intuición sensible.

Es así que este enfoque newtoniano abarcó la astronomía, la mecánica, incluyéndose en ésta a la acústica y la hidrodinámica. No es exagerado pensar que la locomotora, el barco de vapor, la construcción de presas, el radar y la astronomía moderna, entre otros adelantos, deben su existencia a conceptos newtonianos.

Casi dos siglos después de Newton, y a partir de su modelo gravitacional, en 1913 Niels Bohr bosquejó a los átomos como pequeños sistemas solares. No obstante, a diferencia de éstos, de acuerdo con los trabajos de Max Planck, el átomo recibía o en su caso daba un quantum de energía electromagnética, emitiendo y absorbiendo luz solamente en ciertas frecuencias fijas. Más aún, el modelo clásico gravitacional entró en crisis cuando se detectó que un electrón saltaba de una órbita a otra, lo cual era impensable para un planeta del modelo newtoniano.

¿Cuándo se ha visto a un planeta efectuando estas piruetas inter-orbitales? Y si a esto añadimos la incertidumbre ligada a la velocidad y a la posición de las partículas, los conceptos clásicos de espacio, tiempo y causalidad caen por la borda. De esto justamente se trata nuestro siguiente capítulo: el cómo es que la incertidumbre atómica llega a tener repercusiones filosóficas.

Baste como adelanto mencionar que la incertidumbre ocasionó una crisis en torno a los conceptos que se venían manejando desde el siglo XVI. En aquel entonces, y hasta la llegada de la física moderna, se admitía de antemano “el sistema global de correspondencia: la Tierra y el cielo, los planetas y el rostro, el microcosmos y el macrocosmos”.⁸³ Quizá quepa aquí una analogía entre los físicos clásicos y el ‘caballero de la triste figura’: así como “Don Quijote lee el mundo para demostrar los libros”⁸⁴, los físicos clásicos intentaban leer el mundo subatómico, con el fin de demostrar esa correspondencia entre el microcosmos y el macrocosmos.

⁸³ Michel Foucault, *Las palabras y las cosas*, Editorial Siglo XXI, México, 2010, p. 71.

⁸⁴ Ídem, p. 64.

CAPÍTULO TRES:

LA INCERTIDUMBRE CUÁNTICA Y SU RELACIÓN CON LA FILOSOFÍA

*“Recuerdo que, durante uno de nuestros paseos,
Einstein se detuvo de repente para preguntar
si yo realmente creía que la luna existe
solamente cuando la estoy mirando”*

Abraham Pais ⁸⁵

Una vez revisado en el primer capítulo hasta qué punto es posible alcanzar la certeza epistemológica y, en el segundo, habiendo explorando las raíces filosóficas del conocimiento atómico, procedemos ahora examinar uno de los problemas planteados en la introducción: ¿pueden los físicos obtener una retroalimentación conceptual proveniente de la filosofía?

De acuerdo a lo que analizamos en el capítulo dos, no solamente han sido los filósofos quienes han esbozado sus puntos de vista con respecto al conocimiento de la materia: Heráclito, Demócrito, Platón, Aristóteles, *et al.* También ha habido algunos físicos prominentes del siglo XX, como Heisenberg, Einstein y el propio Schrödinger (que incluso llegó a dar charlas de filosofía) quienes han buscado el sustento de sus teorías en el pensamiento de grandes filósofos como Platón, Kant y Descartes. Esto nos llevó a confirmar otra de las cuestiones planteadas en nuestra introducción, a saber, si es que existe efectivamente un vaso comunicante entre la física atómica y la filosofía.

El problema a resolver es si puede establecerse un vínculo entre la incertidumbre epistemológica y la científica. Es justamente en el presente capítulo que analizaremos las posturas de los físicos del siglo XX a este respecto. Nuestro punto de partida proviene del hecho de que, con las teorías de la mecánica clásica, se

⁸⁵ Abraham Pais, “Einstein and the quantum theory” - *Reviews of Modern Physics* 51, Princeton, 1979, p. 907.

habían asentado los conceptos de causalidad y certeza en la descripción de la naturaleza. Como ya mencionamos, en 1913 Niels Bohr describió a los átomos como sistemas solares, en conformidad con un modelo newtoniano estable y predecible.

La incertidumbre no es sinónimo de caos

La certeza newtoniana se viene abajo cuando los físicos, a principios del siglo XX, comienzan a comprobar que un electrón puede saltar de una órbita a otra, sin apego alguno hacia la causalidad. Más aún, carente de una explicación determinista, un átomo puede recibir, o en su caso dar, un quantum de energía electromagnética emitiendo y absorbiendo luz solamente en ciertas frecuencias fijas. Mientras que la física clásica hablaba de distribuciones continuas de energía, la física cuántica introduce saltos y cuantizaciones. Es así que cualquier intento por describir el mundo cuántico mediante un lenguaje newtoniano, está destinado a la inconsistencia y la contradicción. Esto no está muy lejos de la advertencia socrática, mencionada en el capítulo uno, de que todo genuino conocimiento se obtiene por el camino de la superación del error.

Lo relevante para el presente trabajo es que esta revolución cuántica inquietó tanto a científicos como a filósofos, pues se “sabía que el problema no abarcaba sólo la física, sino también la epistemología”⁸⁶. En esa tradición, heredera del empirismo de Hume, Locke y Berkeley, los procesos de adquisición de conocimiento no solamente implican experiencias **indirectas** con la realidad, sino que también el mismo lenguaje científico debía ser actualizado para ser lo menos ambiguo posible. De acuerdo con la física cuántica, el empirismo debería ser complementado con modelos probabilísticos y con un lenguaje matemático que daría cabida a la incertidumbre.

Sin embargo, vale la pena mencionar que el indeterminismo y la incertidumbre no son sinónimos de caos. Esto quiere decir que, a pesar de que el modelo atómico cuántico no es predecible como el modelo clásico de la Dinámica newtoniana, no deja de conservar ciertas propiedades de estabilidad. Por ejemplo, un átomo, “como

⁸⁶ Gerald Holton, *La imaginación científica*, FCE, México, 1985, p. 108.

el de hidrógeno, puede ser perturbado por colisiones a gran velocidad de otros átomos, o por procesos químicos, pero siempre retorna a su estado original, 'normal', o estable".⁸⁷ Deberíamos entonces estar acostumbrados al indeterminismo porque, como ya mencionamos, de acuerdo a la sentencia de Aristóteles: la materia es un *esto* sólo en apariencia.

Dentro de todo, la incertidumbre planteada por Heisenberg muestra las limitaciones que los científicos tienen para acceder a la información del sistema cuántico. Esta incertidumbre no es caótica, sino más bien parametrizable a través de términos relativamente sencillos. Retomando su principio: "es imposible determinar simultáneamente con precisión ilimitada la coordenada de una partícula y la componente correspondiente de su momento".⁸⁸ Expresando esto en forma matemática e incluyendo la constante de Planck, nos queda: $\Delta x \Delta p \geq \hbar = h/2\pi$. Es decir, la matriz de probabilidades de la posición de una partícula (Δx) multiplicada por la matriz de probabilidades de su momento (velocidad por masa = Δp) es mayor o igual a la constante de Planck entre dos veces el valor de π .

Sin tener que adentrarnos mucho en la valoración matemática de esta ecuación, vale la pena mencionar que ella implica lo siguiente: entre mejor puede medirse la posición de una partícula, menos puede determinarse su velocidad, y viceversa. Es decir, no podemos librarnos de un cierto grado de indeterminación. En nuestra exploración de la naturaleza estamos condenados a algo similar a la roca de Sísifo: entre más nos acercamos a determinar la posición de una partícula, más perdemos la certidumbre de su velocidad. Si privilegiamos la una descuidamos la otra, pero no podemos dejar de hacerlo, si es que deseamos obtener resultados funcionales en el mundo atómico: somos como un Sísifo afanándonos por acercarnos a una certeza que jamás será nuestra.

Vale decir que, en términos matemáticos, la incertidumbre tampoco derivó en un caos total, entendiendo éste como un "estado completo de desorden, o como una realidad ontológica carente de racionalidad".⁸⁹ De hecho, las ecuaciones de

⁸⁷ Gerald Holton, *La imaginación científica*, p. 107.

⁸⁸ Marcelo Alonso, *Mecánica Cuántica: Fundamentos y aplicaciones*, Ediciones Universidad de Salamanca, 2009, p. 45.

⁸⁹ Nicola Abbagnano, *Diccionario de Filosofía*, p. 139.

movimiento en la mecánica newtoniana fueron remplazadas por ecuaciones cuánticas hasta cierto punto similares, pero con **matrices** como operadores. Por otra parte, constituyó una experiencia singular el hallar que los antiguos resultados de la mecánica newtoniana, como el de la **conservación de la energía**, pudieran también ser derivados de este nuevo esquema. No obstante, la diferencia esencial entre lo clásico y lo cuántico es que las matrices que representan la posición y el *momentum* no son conmutativas. Por ejemplo, en la ecuación clásica del momento lineal $P = m v$, los términos m y v son intercambiables en su orden, lo cual no sucede con las matrices $\Delta x \Delta p$ de la ecuación de incertidumbre. Éstas no son conmutativas.

El fenómeno más elemental de la naturaleza

Este es quizás el momento adecuado para referirnos al origen de la constante de Planck h , misma que también puso en jaque los paradigmas provenientes de la física clásica. Esta constante, y la teoría cuántica misma, surge del dilema planteado en el experimento del cuerpo negro, cuando una pieza de un material determinado es calentada hasta alcanzar colores rojo y blanco, descubriéndose que

“si una cavidad con paredes perfectamente absorbentes (i.e., negras) es mantenida a una temperatura fija T , su interior será llenado con energía radiante de todas las longitudes de onda. Si la radiación está en equilibrio, tanto dentro de la cavidad como en sus paredes, entonces la proporción a la que la energía es radiada a lo largo de cualquier superficie o unidad de área es independiente de la posición u orientación de tal superficie”.⁹⁰

Al interesarse por la radiación emitida por los objetos calientes, Max Planck se propuso explicar la densidad de energía radiada en función de la frecuencia de la radiación emitida por dichos cuerpos. Debido a que los cálculos clásicos (el cuerpo caliente supuestamente debía emitir colores de energía de manera uniforme) no daban cuenta de la repartición observada, en 1900 Max Planck postuló que “los intercambios de energía entre los objetos calientes y la radiación se efectúan por paquetes, a saber: los **cuanta**”.⁹¹ La constante de proporcionalidad entre la energía

⁹⁰ Thomas S. Kuhn, *Black-Body Theory and the Quantum Discontinuity*, The University of Chicago Press, 1978, p. 3.

⁹¹ Étienne Klein, *La física cuántica*, Siglo XXI Editores, México, 2016, p. 103.

y la frecuencia es la constante de Planck, h , de tal forma que $E = hf$ (energía radiada = constante h multiplicada por la frecuencia). Esta constante es igual a 6.63×10^{-34} Joule por segundo.

Dicho de otra manera: al calentar un cuerpo sólido (por ejemplo, una pieza de metal) esperaríamos que con el calor fuera cambiando de color, desde el rojo vivo, luego el azul y así hasta llegar hasta el blanco. Planck comprobó que esto no lo podemos visualizar porque el cambio de colores (y de frecuencias asociadas al dinamismo de las moléculas) con respecto a la temperatura no se da de manera uniforme en todo el cuerpo, sino mediante cambios elementales llamados cuanta.

Más aún, la constante de Planck erige una barrera entre la física clásica y sus imágenes corpusculares, pues dicha constante representa la acción **mínima**, lo cual significa que

“no puede haber interacción entre dos sistemas a menos que en ellos tenga lugar el intercambio de algo, y que este algo no puede ser arbitrariamente pequeño [de tal manera que] un universo en el que la constante de Planck fuera nula sería íntegramente clásico, con átomos de hidrógeno que volverían a ser auténticos sistemas planetarios en pequeño”.⁹²

Este descubrimiento es fundamental no sólo desde el punto de vista epistemológico, sino también ontológico. Recordemos la diferencia que hay entre los objetos físicos fenoménicos, que son aquellos que podemos percibir a través de una experiencia sensible (mesa, plumón, aire que respiramos), y los objetos físicos no fenoménicos que no son directamente accesibles a la sensibilidad (electrón, virus, cuásares). Pues bien, la constante de Planck está describiendo tal vez el **objeto físico no fenoménico más elemental** de la naturaleza. Y, por otra parte, es un componente del cosmos que es común a toda la materia. Tal vez estamos hablando de la esencia ontológica a partir de la cual podemos describir toda la naturaleza. Es quizás el equivalente al fuego de Heráclito, o quizá el *arché*, o principio de todas las cosas.

No es trivial el suponer que la constante de Planck nos ayuda a describir el estado fundamental de la naturaleza, es decir, la condición por la cual la materia (a

⁹² Étienne Klein, *La física cuántica*, p. 40.

pesar de la incertidumbre) es estable. En particular, gracias a esa energía elemental descrita por Planck es que es prácticamente imposible que, de manera natural, el electrón se precipite sobre el protón: conforme aumenta la energía cinética del electrón, ésta acaba por exceder a la disminución de la energía potencial debido a su proximidad con el protón.

De esta manera “cuando se aproxima al protón, el electrón ve aumentar su impulso (y, por ende, su energía cinética) pero a la vez su energía potencial se torna de más en más negativa”.⁹³ En efecto, con esto no queda descartada la incertidumbre asociada a los saltos cuánticos impredecibles del electrón; sin embargo, el caos no logra imperar en el mundo subatómico, justamente debido a esta relación elemental energética entre protón y electrón. Me permito confesar lo fascinante que fue el revisar esta parte del material bibliográfico: la descripción del fenómeno más elemental que da cohesión al cosmos.

El determinismo anhelado por Einstein

Ahora bien, como ya hemos acotado, la incertidumbre epistemológica inherente al comportamiento del electrón tiene asociado un modelo probabilístico. Y, si bien es cierto que la causalidad resulta fragmentada, esto no impide que puedan obtenerse resultados funcionales de la física atómica. Incluso el propio Hume no miraba con desdén la probabilidad asociada a los resultados empíricos:

“Por conocimiento entiendo la seguridad que surge de la comparación de ideas; por pruebas, los argumentos que se derivan de la relación de causa y efecto y que están totalmente libres de duda e incertidumbre; por probabilidad, la evidencia que va acompañada con alguna incertidumbre”.⁹⁴

Como veremos a lo largo de este capítulo, la incertidumbre, tanto la de Hume, como la de Heisenberg, no fue vista con buenos ojos por un grupo de científicos de principios del siglo XX, quienes tenían en Albert Einstein a su máximo representante. De acuerdo con uno de estos científicos de concepciones deterministas, el físico David Bohm, los términos probabilísticos de la ecuación de Heisenberg podrían ser sustituidos por variables matemáticas **por determinar** en

⁹³ Étienne Klein, *La física cuántica*, p. 41.

⁹⁴ David Hume, *Tratado de la naturaleza humana*, p. 105.

un futuro. Estas variables llamadas ocultas, eventualmente eliminarían la incertidumbre cuántica, en el entendido que “las propiedades de una partícula incluyen ‘variables ocultas’ [o tal vez un tipo de partícula ad hoc – el “zerón”] inaccesibles al observador, mismas que determinan el resultado de las mediciones”.⁹⁵

Este afán por las variables ocultas nos acercaría a una naturaleza cada vez más certera y predecible. Finalmente sería una manera de establecer, a cada instante, la posición y velocidad de los electrones. Sin embargo, cabe anotar que no exigimos la misma certeza cuando se realizan predicciones estadísticas acerca del comportamiento de un gas en ebullición; es decir, no exigimos conocer a cada segundo la posición y velocidad de cada uno de sus átomos. Por ejemplo, cuando vemos la tetera hirviendo no nos interesa saber cuál es la posición de cada molécula de la infusión a cada instante. Lo único que deseamos es verter el té en una taza.

En cierta forma, las variables ocultas se plantearon como herramientas matemáticas que rescatarían el determinismo para la mecánica cuántica, empero, cuando se profundiza en los estudios bohmianos “se encuentran rápidamente motivos que ponen este tópico bajo sospecha [ya que] gran parte de la estructura matemática y formal de la mecánica bohmiana es completamente ajena a la mecánica cuántica”.⁹⁶ A pesar de que los trabajos de Bohm constituyen una interpretación de los fenómenos cuánticos pueden constatar, con respecto a los planteamientos originales de Heisenberg, “notorias diferencias tanto en las ecuaciones del movimiento consideradas fundamentales, como en las entidades y propiedades postuladas y en la filosofía subyacente”.⁹⁷ Significa que las variables ocultas bohmianas estarían refiriéndose a una mecánica cuántica hecha a su propio estilo.

En respuesta a esta fijación por descubrir las variables ocultas mencionadas por Bohm, el físico Bohr decía en broma que éstas podrían ayudarnos a tener la esperanza de que “a veces $2 \times 2 = 5$, lo cual representaría una enorme ventaja para

⁹⁵ Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy*, p. XVII.

⁹⁶ Albert Solé Bellet, *Realismo e interpretación en Mecánica Bohmiana*, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 2010, p. 12.

⁹⁷ Ídem, p. 12.

nuestras finanzas”.⁹⁸ Las variables ocultas parecían sacadas del sombrero de un mago determinista. No olvidemos que la incertidumbre cuántica no implica necesariamente una inestabilidad en la naturaleza. Un elemento químico (compuesto desde luego por átomos) en sus condiciones normales de presión y temperatura tiene algunas propiedades físicas y químicas adecuadamente predecibles.

Ahora bien, el que no sean tomadas en cuenta las variables ocultas, no implica que no haya más por conocer en el comportamiento de las partículas subatómicas. Sin duda esto atañe a la clasificación más reciente de partículas elementales, la cual va más allá de la que incluye a protones, neutrones y electrones.

Sin pretender enfocar esta tesis a un análisis concienzudo de las partículas elementales, solamente quisiéramos mencionar el descubrimiento reciente del bosón de Higgs. Esta partícula es considerada tan fundamental en el mecanismo por el que se origina la masa de las otras partículas, que esto inspiró la creación del libro *La partícula divina*, elaborado en 1993 por el físico ganador del premio Nobel Leon M. Lederman y el escritor de ciencias Dick Teresi.

En este libro se resalta la importancia del bosón de Higgs para explicar el comportamiento de la materia. La “partícula divina” es como la pieza de un rompecabezas que faltaba, pero que la teoría y la praxis apuntaban a su existencia. De esta manera, el entendimiento humano no puede dejar de lidiar con la **invisibilidad** en la naturaleza; aunque, por otra parte, mediante estos descubrimientos recientes no se ha descartado la incertidumbre cuántica ni sus modelos probabilísticos inherentes. A este respecto, Lederman y Teresi nos ofrecen una analogía para explicar el cosmos:

“el universo es la biblioteca, las fuerzas de la naturaleza la gramática, la ortografía el algoritmo, y el cero y el uno lo que llamamos quarks y leptones, nuestros candidatos hoy a ser los á-tomos de Demócrito. Todos estos objetos, por supuesto, son invisibles”.⁹⁹

⁹⁸ Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy*, p. 106.

⁹⁹ Leon Lederman y Dick Teresi, *La partícula divina: si el universo es la respuesta, ¿cuál es la pregunta?*, Editorial Crítica, Barcelona, 2009, p. 25.

El algoritmo referido todavía no está exento de imprecisiones por corregir. Y aunque el trabajo de los físicos de partículas de los últimos años no se ha centrado en la incertidumbre cuántica, todavía admiten que: “sin un conjunto lógico de leyes nunca deduciríamos la existencia de ninguna de las partículas”.¹⁰⁰ Esto implica una relación cercana entre la teoría y la práctica, entre la física y las matemáticas. Si bien es cierto que, en tono de broma, “los físicos sólo le rinden pleitesía a los matemáticos, y los matemáticos sólo a Dios”.¹⁰¹ Esto nos remite al afán de Descartes por matematizar nuestra percepción del mundo, al grado tal que, como mencionamos en el capítulo uno, el pensador francés proponía excluir cualquier explicación no matemática de la naturaleza.

La propia mecánica cuántica no está exenta de un rigor matemático, a pesar de las críticas que pudieran existir en torno a sus modelos probabilísticos o su causalidad indeterminada. Heisenberg mismo aduce que

“se considera que el sistema de definiciones y axiomas, que pueda ser escrito en una serie de ecuaciones matemáticas, describe a su vez una estructura eterna de la naturaleza, la cual no depende ni de un espacio ni de un tiempo particular. Es tan cercana la conexión entre los diferentes conceptos en el sistema, que no podría cambiarse ninguno de esos conceptos sin destruir todo el sistema”.¹⁰²

La fenomenología en el acto de medir

A final de cuentas, todas esas partículas (bosones, quarks, leptones, et al.) están propensas a la incertidumbre en el mismo acto de la medición. El hecho de medir define el objeto que se mide, ya que, al intentar recabar información respecto a una partícula, estamos interactuando con ella y por ende es susceptible de modificar sus propiedades (velocidad, posición). Medir esas propiedades, por lo tanto, altera al sistema cuántico.

Recuérdese el concepto de magnitud kantiana que mencionamos en el capítulo dos, como “la categoría de la síntesis de lo homogéneo a la que ha de conformarse la percepción”. Medir es entonces ajustar lo medido a una magnitud que depende

¹⁰⁰ Leon Lederman, *La partícula divina*, p. 29.

¹⁰¹ Ídem, p. 30.

¹⁰² Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy*, p. 67.

de la percepción. Es, nuevamente, la *res extensa* interactuando con la *res cogitans*. En cambio, la mecánica newtoniana y la física clásica parten de la suposición de que puede describirse el mundo sin hablar de nosotros como espectadores, siendo que las ciencias naturales están hechas por personas.

En este sentido, Einstein apoyaba la idea de una realidad que existe con absoluta independencia del sujeto, de no ser así “la física se convertiría en híbrido de física y psicología que incluiría los estados mentales y psíquicos del observador”.¹⁰³ La intervención de estados mentales y psíquicos pudiera ser considerado como psicologismo, término que se origina en el siglo XIX y que “designa cualquier filosofía que considere como fundamento los datos de la conciencia, es decir, de la reflexión del hombre por sí mismo”.¹⁰⁴

En sus *Prolegómenos*, Husserl menciona que el psicologismo es un relativismo escéptico, “desde el momento en que sustrae a las leyes lógicas la validez absoluta que les es propia, haciéndolas depender de las maneras contingentes en que puede funcionar la razón humana”. Como mencionamos en el capítulo uno, Husserl consideraba la recopilación del conocimiento como una experiencia intuitiva en la que las cosas se muestran de la manera más originaria.

Esta experiencia intuitiva toma las objetividades que se presentan a la conciencia como meros ejemplares que se obtienen por **variación eidética**, es decir, comparando varios objetos intencionales para destacar una esencia común. Por ejemplo, después de presentar a la conciencia varios modelos de comportamiento de las partículas subatómicas, es de esperar que eventualmente se llegue a una esencia común a todos esos modelos. No tendríamos que caer en el extremo propuesto por Locke en la experiencia intuitiva, mencionada en el capítulo uno, en donde en una misma cubeta una mano la sentimos fría y la otra caliente.

Es necesario aclarar que ningún físico cuántico ha mostrado su apoyo por la intervención de estados mentales y psíquicos. Para alguien proveniente del mundo clásico, esto podría representar la subjetividad invadiendo el objeto de estudio. Sin

¹⁰³ Ana Rioja, “Einstein: el ideal de una ciencia sin sujeto”, Revista de Filosofía No. 2/87-108 (3ª época), Editorial Universidad Complutense, Madrid, 1989, p. 87.

¹⁰⁴ Nicola Abbagnano, *Diccionario de Filosofía*, p. 874.

embargo, “ni Bohr, ni Born, ni Heisenberg, ni Pauli, han hecho intervenir la *mente* del observador; a quien han hecho intervenir es al observador en tanto que lleva a cabo un *acto físico* (no un acto psíquico) de medición”.¹⁰⁵ En el acto de medir influye el sujeto con sus instrumentos de medición, y

“puesto que los instrumentos están conectados al resto del mundo, ellos involucran de hecho la incertidumbre de la estructura microscópica del mundo entero [e incluso] mientras llevamos a cabo la representación matemática de nuestra observación, el sistema medido cambia discontinuamente y esto conlleva varios saltos cuánticos”.¹⁰⁶

Por más empeñados que estemos en lograr la precisión absoluta, el acto de medir no va a llevarnos a **aprehender** la cosa en sí. La medición es una forma de representación de las cosas, tal como nos son dadas, y este proceso “no se rige por éstas en cuanto cosas en sí, sino que más bien esos objetos, en cuanto fenómenos, se rigen por nuestra forma de representación”.¹⁰⁷ Dicho de otra manera, “no podemos tener conocimiento de un objeto como cosa en sí misma, sino sólo en cuanto la cosa es objeto de la intuición sensible, es decir como fenómeno”¹⁰⁸. No podemos concluir nada de la percepción acerca de la cosa en sí. Esta es la **revolución copernicana** para Kant: el objeto en sí deja de ser el centro de atención, para dar mayor preponderancia al sujeto que representa el fenómeno a través de su juicio.

De igual manera, en la incertidumbre de Heisenberg, la medición del fenómeno no es un acto de aprehensión absoluta de la cosa en sí. La **cosa en sí** es para un físico atómico,

“si es que éste utiliza dicho concepto, ultimadamente una estructura matemática; aunque esta estructura es –contrario a lo que Kant explica– indirectamente deducida de la experiencia [...] por lo tanto, nunca será posible obtener una verdad únicamente por vía de la razón”.¹⁰⁹

Además de la razón, necesitamos instrumentos que nos ayuden a medir el fenómeno. Esta relación entre el fenómeno medido y su representación es también

¹⁰⁵ Ana Rioja, *Einstein: el ideal de una ciencia sin sujeto*, p. 106.

¹⁰⁶ Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy*, p. 27-28.

¹⁰⁷ Immanuel Kant, *Crítica de la razón pura*, p. 23.

¹⁰⁸ Ídem, p. 25.

¹⁰⁹ Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy*, p. 65.

sumamente importante para Einstein, quien añade un aspecto más a dicha actividad. La medición no puede estar exenta de **comprensibilidad**, la cual

“implica la creación de cierto orden en las impresiones sensoriales; un orden que se produce por la creación de **conceptos** generales, de relaciones entre dichos conceptos y de relaciones definidas de cierta clase de entre los conceptos y la experiencia sensorial”.¹¹⁰

Los conceptos y las categorías kantianas

Cabe anotar que Einstein concordaba con Kant, además de en su principio de causalidad, en su analítica de los conceptos. El físico alemán no se refería a los conceptos que descubrimos ocasionalmente por nuestra facultad cognoscitiva, carentes de un orden o unidad sistemática y que “son emparejados por simple semejanza y ordenados en series por la amplitud de su contenido, desde los simples a los más compuestos”.¹¹¹ Se refería más bien a los conceptos que son buscados por el entendimiento para formular juicios, en el entendido que “jamás puede un concepto referirse inmediatamente a un objeto, sino a alguna representación de este último”.¹¹² Bajo este supuesto, el concepto de Einstein acerca de la energía no podía referirse al objeto inmediato, sino a su representación a través de la fórmula $E = mc^2$.

Retomando los párrafos anteriores: de acuerdo con Einstein (y con Kant), la comprensibilidad de la medición de la energía va de la mano con el concepto de ésta, esbozado a través de la representación en la fórmula citada. La discrepancia de Einstein con la teoría cuántica es que la comprensibilidad de la medición está sujeta a la incertidumbre, además de que el concepto inherente está representado por fórmulas probabilísticas.

Es necesario aclarar que había algunos aspectos de la teoría kantiana con los que Einstein no estaba del todo de acuerdo. Por ejemplo, el físico relativista argüía que “no existen categorías últimas en el sentido que Kant adjudica a este término”.¹¹³ Recordemos la definición que Kant ofrece de las categorías: “conceptos

¹¹⁰ Albert Einstein, *Physik und Realität*, Franklin Institute Journal, Filadelfia, 1936, vol. 221 p. 263.

¹¹¹ Immanuel Kant, *Crítica de la razón pura*, p. 104.

¹¹² Ídem, p. 105.

¹¹³ Albert Einstein, *Physik und Realität*, p. 270.

puros referidos a priori a objetos de la intuición general como funciones lógicas [...] que agotan el entendimiento por entero, así como también calibran su capacidad total”.¹¹⁴ Ejemplos de categorías kantianas son: unidad, pluralidad, realidad, causalidad, posibilidad, etcétera.

Me parece que sería muy fructífero indagar con mayor profundidad la relación entre las categorías kantianas con el desarrollo de la ciencia de los últimos cien años. Este tema por sí mismo podría ser suficiente para el desarrollo de una tesis. Baste para el presente documento mencionar la discrepancia que Einstein manifestaba al respecto:

“La actitud teórica aquí defendida es distinta de la de Kant sólo en el hecho de que nosotros no concebimos las categorías como inalterables (condicionadas por la naturaleza del entendimiento) sino como libres convenciones (en sentido lógico)”.¹¹⁵

Las categorías no son entonces para Einstein conceptos puros (e inalterables) referidos a priori a objetos de la intuición general, sino libres convenciones en sentido lógico. Quiere decir que las categorías deberían irse adaptando a lo que vamos obteniendo de la experiencia, apoyada por supuesto con la investigación científica. Después de todo, el mismo Einstein afirmaba que “todo conocimiento de la realidad comienza en la experiencia y desemboca en ella [pues] la experiencia es el alfa y el omega de todo nuestro conocimiento”.¹¹⁶

Kant asume también que todo conocimiento inicia con la experiencia, pero no siempre se deriva de ésta. Por otra parte, el que un objeto tenga ciertas propiedades no implica que dichas propiedades no puedan después hallarse modificadas. Además del tiempo, el espacio apriorístico y la causalidad, Kant asumió la geometría euclidiana como apriorística. De hecho, para Kant “las proposiciones de la geometría son conocidas sintéticamente a priori y con certeza apodíctica”.¹¹⁷ Por otra parte, los conceptos de espacio y tiempo corresponden a nuestra relación con la naturaleza y no a la naturaleza en sí. Más aún, en la mecánica clásica “espacio y

¹¹⁴ Immanuel Kant, *Crítica de la razón pura*, p. 113.

¹¹⁵ Albert Einstein, “*Remarks to the Essays Appearing in this Collective Volume*”, en P. A. Schlipp (ed.). *Albert Einstein Philosopher-Scientist*, vol. 2, 1949, p. 669.

¹¹⁶ Albert Einstein, *On the Method of Theoretical Physics*, Clarendon Press, Oxford, 1933, p. 243.

¹¹⁷ Immanuel Kant, *Crítica de la razón pura*, p. 85.

materia se consideraban en principio continuos y [esta concepción] habría que remplazarla por un enfoque esencialmente *invisualizable*, formalista”.¹¹⁸

Continuando con el tema de las categorías, he aquí un enigma que Einstein no dejó aclarado en sus escritos: si las categorías lógicas deben adaptarse a lo que proviene de la experiencia, ¿por qué entonces no aceptar una categoría nueva, la cual acepte a la incertidumbre como complemento de la causalidad kantiana? Tal vez esto hubiera ayudado a dirimir las controversias entre el propio Einstein y Heisenberg: una física moderna con categorías adaptables a los resultados de la praxis. Después de todo, y en palabras del propio Einstein:

“la ley de causalidad no puede ser considerada como una ley necesaria; por el contrario, hay fenómenos tales como la emisión de un electrón por parte de un átomo de radio, o el salto de un electrón de un estado estacionario a otro dentro de un átomo expuesto a la radiación, que no parecen obedecer a ley causal alguna”.¹¹⁹

Potencialidades coexistentes

Además de la importancia del acto de medir, de la intervención del sujeto y sus instrumentos técnicos, no olvidemos que la incertidumbre implica resultados probabilísticos. Introducir este tipo de términos para describir la realidad es como situarse a medio camino entre la posibilidad y la realidad determinista o, en su caso “ubicar una tendencia hacia esta realidad, como una versión cuantitativa del viejo concepto de ‘potencia’ en Aristóteles”.¹²⁰ Es así como los físicos cuánticos se han ido gradualmente acostumbrando a “considerar las órbitas electrónicas, así como las posiciones y movimientos involucrados, no como una realidad determinística, sino como una especie de ‘potencia’”.¹²¹ Por eso es que la física cuántica nos entrega la realidad en potencia, en cuanto a la posición y velocidad de los electrones.

Respecto a otros conceptos aristotélicos, la teoría cuántica ha puesto en duda los cimientos de la lógica tradicional, analizando la modificación del principio *tertium non datur*, o tercero excluso. A través de este principio podemos asumir, por

¹¹⁸ Gerald Holton, *La imaginación científica*, FCE. México, 1985, p. 120.

¹¹⁹ Ana Rioja, *Einstein: el ideal de una ciencia sin sujeto*, p. 102.

¹²⁰ Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy*, p. 15.

¹²¹ Ídem, p. 155.

ejemplo, que es de día o no es de día, o que el Sol está ardiendo o no está ardiendo, por lo que una tercera proposición queda excluida. De esta manera: “dado un enunciado p , o bien es cierto p o es cierta su negación: no existe una tercera posibilidad”.¹²² En el caso cuántico, el que un electrón esté en una órbita o en otra, es algo que no podemos decidir de forma determinista. Es decir, hay una tercera proposición que indica que podemos asumir al electrón en cualquiera de las dos órbitas a la vez. El *tertium non datur* queda así indeterminado.

Esto también lo expresó el físico austriaco Schrödinger en su famosa paradoja del gato en la caja hermética, en donde el felino se encuentra fuera de la vista de cualquier observador. La caja es una cámara de gas letal, pues tiene un dispositivo de un isótopo radioactivo y un generador de gas tóxico:

“Si el isótopo se desintegra, sus productos activan el dispositivo que produce el gas mortífero y la cámara se inunda de gas, con lo que el gato muere. Si no hay desintegración el gato vive. El experimento está diseñado de modo que la única forma de saber el estado del gato es abrir la caja y observar. Dice Schrödinger que mientras no abramos la caja y comprobemos cómo está el gato, el pobre animalito se describe con una función de onda total que es una mezcla de partes iguales de la función de onda gato-vivo y la función gato-muerto”.¹²³

El principio del tercero excluso no puede aplicarse, por lo tanto, al estado del gato en la caja (o del electrón en sus órbitas) porque éste puede estar en cualquiera de dos situaciones a la vez. Es interesante cómo Heisenberg sugiere una salida muy elegante a este dilema:

“Si uno considera la palabra ‘estado’ como algo que describe una potencialidad más que una realidad –puede simplemente remplazarse el término ‘estado’ por el término ‘potencialidad’– entonces el concepto de ‘potencialidades coexistentes’ resulta bastante plausible, ya que una potencialidad puede involucrar o traslapar otras potencialidades. [Es así que] los átomos o las partículas elementales en sí no son tan reales; ellas forman un mundo de potencialidades o posibilidades más que un mundo de objetos o de hechos”.¹²⁴

¹²² Nicola Abbagnano, *Diccionario de Filosofía*, p. 1029.

¹²³ Ramón Carbó-Dorca, *¿Por qué las cosas son así y no de otra manera?*, Universidad de Oviedo, Girona, 2001, p. 198.

¹²⁴ Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy*, p. 159.

En el enfoque de Heisenberg, el paso revolucionario consistió en fijar la atención “no en la energía específica y precisa que el electrón tiene en sus estados estacionarios, sino en las probabilidades de transición de un estado a otro”.¹²⁵ Recuérdese lo que ya mencionamos respecto al extranjero que declara en el *Teeteto*: “tanto los cuerpos como las verdades que de ellos se hablan, eso no es la realidad sino apenas un devenir fluctuante”.

Un lenguaje científico ad hoc

Pasando ahora a la representación matemática de los fenómenos, ésta funciona como una correlación entre los símbolos elegidos por nosotros y las mediciones que llevamos a cabo. En este sentido, dicha correlación permite la expresión de las leyes naturales “en términos del lenguaje común, puesto que nuestros experimentos consisten en acciones y observaciones que pueden siempre ser descritas en un lenguaje de uso común”.¹²⁶ Es pertinente recordar lo que mencionamos en el capítulo uno respecto a Wittgenstein y la lógica del lenguaje, en donde la posibilidad de error no está del todo excluida: la convicción o certeza se halla tan arraigada en lo que decimos (a través del lenguaje, incluso el matemático) que no podemos alcanzarla. Las ecuaciones de la física no dejan de ser una representación de la cosa en sí.

A este respecto, es imprescindible anotar que ningún lenguaje humano se considera totalmente cerrado y concluido. Piénsese en el idioma que utilizó Cervantes para elaborar el Quijote y el que se utiliza ahora por nosotros, los hispanoparlantes del siglo XXI. De la misma manera las matemáticas a alcance de Copérnico o de Kepler no son las mismas que se han utilizado recientemente para describir, por ejemplo, los fractales. Y así

“En el uso del lenguaje, un primer nivel se refiere a los objetos –por ejemplo, los átomos o los electrones. Un segundo nivel se refiere a los postulados referentes a esos objetos. Un tercer nivel podría referirse a los postulados acerca de los postulados sobre esos objetos, y así sucesivamente”.¹²⁷

¹²⁵ Gerald Holton, *La imaginación científica*, FCE. México, 1985, p. 109.

¹²⁶ Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy*, p. 146.

¹²⁷ Ídem, p. 156.

Lo anterior nos llevaría a determinar “la relación entre los diferentes niveles del lenguaje y las consecuencias para la ontología subyacente”.¹²⁸ En el caso de las ecuaciones usadas para la física atómica, una de las modificaciones más importantes que han experimentado es en estos términos: uno debería escribir las leyes mecánicas “no como ecuaciones acerca de la posición y velocidad de los electrones, sino como ecuaciones de sus frecuencias y amplitudes [vibraciones elementales de los átomos], conforme a los planteamientos de Fourier”.¹²⁹ Vemos así una relación dinámica entre conceptos y lenguaje que deben adaptarse a nuevas circunstancias.

Concretamente no era sólo el lenguaje, pero también los conceptos los que despertaban la intranquilidad de Einstein respecto a la incertidumbre cuántica. De hecho, fueron varias las posiciones defendidas por Einstein durante aproximadamente treinta años y que fueron derruidas por la física cuántica:

- “1. Un objeto físico es un sistema individual con un principio de unidad y continuidad.
2. Todo objeto físico real está localizado en el espacio y en el tiempo.
3. Un objeto físico tiene propiedades estrictamente determinadas, que deben quedar adecuadamente expresadas en la teoría.
4. La realidad física obedece a una estricta ley de causalidad”.¹³⁰

Como hemos analizado a través de este documento, la **continuidad** en el comportamiento de un electrón es difícil de determinar. Lo mismo aplica para su localización en el espacio y en el tiempo. La determinación queda excluida, a menos que se acepten modelos probabilísticos y la ley de la causalidad es puesta a prueba por los saltos cuánticos impredecibles.

“Dios no juega a los dados”

Tal vez la confrontación académica entre Einstein y los físicos cuánticos de la escuela de Copenhague sea uno de los sucesos científicos más interesantes del siglo XX. Fue justamente de esta controversia la que hizo que aquél hiciera su famosa declaración:

¹²⁸ Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy*, p. 158.

¹²⁹ *Ibidem*, p. IX.

¹³⁰ Ana Rioja, *Einstein: el ideal de una ciencia sin sujeto*, pp. 89-90.

“La mecánica cuántica es algo muy serio. Pero una voz interior me dice que de todos modos no es ese el camino. La teoría dice mucho, pero en realidad no nos acerca gran cosa al antiguo secreto. En todo caso estoy convencido que **Él [Dios] no juega a los dados**”.¹³¹

No jugar a los dados significaría descartar el azar y la probabilidad en la configuración de ecuaciones que describan a la naturaleza. En este sentido, Einstein mantiene una posición epistemológica abiertamente apriorista donde, de antemano, contamos con esas ecuaciones exentas de incertidumbre. Por esta razón es que no puede fundamentar la existencia de un mundo exterior real “si no es mediante la intervención del sujeto que ‘crea’ el concepto de *objeto material* y le atribuye una realidad no reductible al conjunto de impresiones sensoriales”.¹³² Es decir, el científico crea el concepto y las ecuaciones del objeto material llamado electrones, mismas que no deberían reducirse a las impresiones sensoriales indeterminadas que obtenemos a través de nuestros instrumentos de medición. Esto es lo que es inconcebible para Einstein.

Habría que añadir que el creador de la teoría de la relatividad tenía un profundo respeto por la epistemología, sobre todo la basada en las teorías kantianas (v. g. la causalidad) y es así que “la epistemología sin contacto con la ciencia se convierte en un esquema vacío y la ciencia sin epistemología es primitiva y confusa”.¹³³ Vemos así una confianza propicia para una relación cercana entre la experiencia empírica y su interpretación con base en una teoría epistemológica, pero sin llegar a una complicación excesiva en los elementos lógicos. Por eso tal vez es que Einstein veía con desconfianza las ecuaciones de la física cuántica, como un atentado en contra de la parvedad de dichos elementos:

“El objetivo último de la ciencia es una comprensión tan *completa* como sea posible de la conexión entre las experiencias sensoriales en su totalidad y el logro de ese objetivo mediante el uso mínimo de conceptos primarios y de relaciones. Se busca, en la medida de lo posible, una unidad lógica en la imagen del mundo, es decir, parvedad en los elementos lógicos”.¹³⁴

¹³¹ Albert Einstein, M. Born, *Correspondencia 1916-1955*, Editorial Siglo XXI, México, 1973, p. 119.

¹³² Ana Rioja, *Einstein: el ideal de una ciencia sin sujeto*, p. 89.

¹³³ Albert Einstein, “*Remarks to the Essays...*”, p. 684.

¹³⁴ Albert Einstein, *Physik und Realität*, p. 264.

Tal vez lo que Einstein buscaba era una serie de ecuaciones que describieran el mundo subatómico, pero de la misma manera que se describe el mundo visible sin instrumentos especializados. Ante esta situación, Heisenberg argüía que, los que se oponen a la incertidumbre y a la interpretación cuántica de la realidad preferían regresar a la idea de “un mundo real objetivo cuyas partes más pequeñas existan en el mismo sentido que las piedras o los árboles, independientemente si los observamos o no”.¹³⁵ Para Heisenberg, esta ontología del materialismo descansa en la ilusión de que el mundo visible que nos rodea puede ser extrapolado al mundo atómico. Esta extrapolación es imposible porque una partícula subatómica no se comporta como un árbol o una piedra.

Por supuesto que Heisenberg no podía dejar pasar la ocasión para responder directamente al planteamiento de que Dios no juega a los dados. En las últimas páginas de su libro *Physics and Philosophy*, hace alusión al tema de una manera muy precisa:

“Cuando hablamos de intervención divina, obviamente no nos referimos a la determinación científica de un evento, sino a la conexión significativa entre este evento y otros, o entre este evento y el pensamiento humano. Ahora bien, esta conexión intelectual forma parte de la realidad tanto como la causalidad científica; sería entonces una simplificación demasiado cruda si adscribiéramos esta conexión exclusivamente al lado subjetivo de la realidad”.¹³⁶

Obvia decir que Einstein no estuvo de acuerdo con este tipo de argumentos. Él insistió en todo momento acerca de la necesidad de contar con herramientas matemáticas (v. g. las variables bohmianas ya mencionadas) que no solamente nos acercaran al determinismo y la causalidad en la naturaleza, sino también a la separabilidad en la realidad. Esta última se refiere a la independencia de los fenómenos naturales respecto a la existencia hipotética de un observador.

Estos y otros conceptos son analizados en la famosa *Paradoja Einstein-Podolsky-Rosen* publicada en 1935 por el Instituto de Estudios Avanzados de Princeton. Ahí se enfatiza que “todo elemento de la realidad física debe tener una

¹³⁵ Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy*, p. 103.

¹³⁶ Ídem, “Epílogo 3, Ciencia y Religión”, p. 23.

contraparte en la teoría física".¹³⁷ Uno de esos elementos que, de acuerdo con Einstein, no tienen una contraparte determinista con la teoría es precisamente la existencia de los saltos cuánticos no del todo parametrizables. Ante estas circunstancias, el único criterio razonable para Einstein es que

"si en un sistema que no es alterado de manera alguna, podemos predecir con certidumbre (es decir, con una probabilidad igual a la unidad) el valor de una cantidad física, entonces existe un elemento de una realidad física correspondiente a esa cantidad".¹³⁸

Bajo este supuesto, era inconcebible para Einstein que, cuando el *momentum* (cantidad de movimiento = masa por velocidad) de una partícula es un dato conocido, su coordenada o posición no tiene una realidad física. Más aún, cualquier intento por determinar experimentalmente uno de esos fenómenos, propiciará una alteración en el sistema de tal modo que se destruye el conocimiento del otro fenómeno. En pocas palabras, para el creador de la teoría de la relatividad, el principio de incertidumbre de Heisenberg no redundaba en realidades físicas.

Con base en lo anterior, la famosa frase "Dios no juega a los dados" podría plasmarse como una crítica contundente al principio de incertidumbre a través de estos dos postulados:

"(1) es incompleta la descripción de la realidad por parte de la mecánica cuántica dada por su función de onda, o (2) cuando no son conmutables los operadores correspondientes a dos cantidades físicas [$\Delta x \Delta p$, posición y momento], las dos cantidades no pueden tener una realidad simultánea".¹³⁹

No hay evidencia alguna de que se haya dirimido esta controversia entre los anhelados conceptos deterministas de Einstein y los probabilísticos cuánticos. La lógica clásica, cimentada en una causalidad comprobable, ya no puede sostenerse a priori. Sin embargo tanto Einstein como Heisenberg, y seguramente muchos otros científicos, estarán de acuerdo que "lo que hace de la ciencia un edificio siempre

¹³⁷ Albert Einstein, B. Podolsky y N. Rosen, *¿Puede considerarse completa la descripción de la realidad física por parte de la mecánica cuántica?*, Instituto de Estudios Avanzados de Princeton, Nueva Jersey, 1935, p. 777.

¹³⁸ Albert Einstein, B. Podolsky y N. Rosen, *¿Puede considerarse completa...?*, p. 777.

¹³⁹ Ídem, p. 778.

provisional y sometido a revisión es el hecho de que ningún puente lógico nos franquea el paso desde el nivel de la experiencia al de los conceptos”.¹⁴⁰

Es posible que el edificio de la ciencia dé cabida a esta controversia por muchos años más, mientras se sigue describiendo el comportamiento de las partículas subatómicas, especialmente en relación con otras teorías además de la relativista y la cuántica; v. g. teoría de cuerdas o fractales. Lo cierto es que, independientemente de los planteamientos teóricos en disputa, en los últimos cien años la heurística relacionada con los fenómenos subatómicos ha dado lugar a descubrimientos y aplicaciones eminentemente prácticos. Baste mencionar como ejemplo a la energía nuclear, la física de semiconductores, el rayo láser y los rayos X.

De esto es precisamente de lo que hablaremos en el último capítulo de este trabajo. Es decir, una vez expuesto este vaso comunicante entre la física y la filosofía (con todo y las controversias no resueltas), procederemos a analizar la relación de la incertidumbre con otras disciplinas del conocimiento.

¹⁴⁰ Ana Rioja, *Einstein: el ideal de una ciencia sin sujeto*, p. 92.

CAPÍTULO CUATRO: RELACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE EPISTEMOLÓGICA CON OTRAS DISCIPLINAS DEL CONOCIMIENTO

*“Me gustan la teoría de la relatividad y la cuántica
porque no las entiendo,
porque hacen que tenga la sensación de que el espacio vaga
como un cisne que no puede estarse quieto,
que no quiere quedarse quieto ni que lo midan;
porque me dan la sensación de que el átomo es una cosa impulsiva,
que cambia siempre de idea”*

D. H. Lawrence ¹⁴¹

Hemos llegado al punto en que, según los planteamientos aquí expuestos, la incertidumbre no puede erradicarse de las diversas concepciones epistemológicas propuestas a lo largo del tiempo. Hemos analizado también cómo es que la profundización en el conocimiento atómico no está del todo desvinculada del desarrollo de la filosofía. Y, finalmente, conectando estos dos puntos, hemos comprobado que existen consecuencias epistemológicas para el principio de incertidumbre de Heisenberg, en palabras de él mismo, y de otros científicos destacados como Einstein y Schrödinger.

Este último capítulo está dedicado a explorar lo siguiente: si la incertidumbre se encuentra presente en la física y en otras disciplinas del conocimiento, consecuencia de ello, pudieran observarse resultados adversos (o no funcionales) en dichas disciplinas. Cabe aclarar que, apegándonos a un rigor conceptual, las acepciones de incertidumbre que aquí serán utilizadas son complementarias a la asociada al mundo cuántico. Esto significa que, por ejemplo, la incertidumbre que actúa a nivel microscópico lleva un componente de necesidad, mientras que la incertidumbre anhelada voluntariamente en el arte lleva un componente de

¹⁴¹ D. H. Lawrence, *Pansies: Poems*, Martin Secker editor, Londres, 1929, p. 116.

contingencia. Exploremos, pues, la posibilidad de que la incertidumbre pueda ser una acompañante irremplazable para disciplinas como la física, la química, la biología, la psicología, el arte en general y, en particular, el cine y la literatura.

En lo tocante a la física atómica, como ya hemos venido mencionando, esta disciplina nunca ha dejado de funcionar operativamente a lo largo de los años, con todo y su incertidumbre asociada. Operativamente, significa que la física experimental ha encontrado aplicaciones inmediatas en el mundo de la tecnología. Baste mencionar que la teoría cuántica comprende “la mecánica cuántica y ondulatoria, la teoría del espectro atómico y la teoría de propiedades de la materia, tales como la conductividad y el ferromagnetismo”.¹⁴² Cada una de estas áreas ha producido resultados completamente prácticos en beneficio de la humanidad: aplicaciones industriales y comerciales, desarrollo de tecnología médica, exploración cosmológica, etcétera.

Con respecto a la ciencia química, como pariente más cercana a la física y sin necesidad de redundar en lo comentado respecto al principio de incertidumbre, solamente queda agregar que el no poder determinar de manera absoluta la posición y velocidad de los electrones, no es impedimento para que el género humano haya podido manipular la materia a su antojo.

No ha sido necesario saber la ubicación de cada electrón en los diversos elementos químicos, para que éstos puedan ser útiles en la generación de energía en sus diversas formas, o en la creación de riqueza a través de la industria petroquímica, en los beneficios (y perjuicios) de la industria farmacéutica y alimentaria, y en el desarrollo de nanotecnología en sus diversas aplicaciones. En nada afectaron los saltos cuánticos para que Joseph Priestley pudiera descubrir el oxígeno en el siglo XVIII, o para que Lavoisier demostrara la importancia de este elemento en el proceso de respiración de plantas y animales. Incluso la tabla periódica de Mendeleev no pierde en modo alguno su consistencia a causa de los electrones, siempre saltarines de una órbita a otra.

Es posible que nos lleve muchos años más para determinar cómo es que empezaron a formarse y combinarse los elementos químicos en todos los rincones

¹⁴² Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy*, p. 74.

del Cosmos. Esto no obsta para disuadir nuestro entusiasmo en torno a los enigmas científicos que quedan por resolver. No importa que “la obscuridad vaya siempre acompañada de una especie de incertidumbre”¹⁴³. La búsqueda de experiencias empíricas sigue siendo un elemento indispensable para comprobar nuestras teorías y así poder revisar nuestros conceptos.

Pasando a otra área del saber, supongamos que los conceptos de espacio, tiempo y causalidad, se conectan con la experiencia que se ha ido acumulando a través del desarrollo de la vida, desde un pasado distante y para todas las especies. Ante este supuesto, el biólogo Lorentz “comparó alguna vez dichos conceptos apriorísticos con formas de comportamiento que en los animales se llaman esquemas innatos o hereditarios”.¹⁴⁴ Piénsese, por ejemplo, en el comportamiento de un tigre cazando en la jungla: no hay quizá una forma más elegante en la que en el reino animal se ilustren los conceptos de espacio, tiempo y causalidad. No podemos imaginar a ese gran felino que actúe ignorando estos conceptos, sobre todo al observar la precisión fascinante cuando dicho animal logra cobrar una presa. Y, aun así, la incertidumbre está presente en la vida diaria en la jungla, como también el azar ha sido un elemento inherente a la evolución de las especies.

La batalla entre el determinismo y el azar ha estado presente en las ciencias biológicas desde el siglo XIX. Los deístas insistían (y siguen insistiendo) en que la creación divina debía seguir ciertas leyes emanadas de una conciencia universal, “pero las ‘leyes’ de Darwin no eran las leyes de los deístas, sino que eran hechos simples o procesos regulares”.¹⁴⁵ Estos hechos y procesos giran en torno a la necesidad de adaptación de las especies y a la supervivencia del más apto. Es decir, para Darwin las leyes universales provenientes del misticismo debían ser sustituidas por generalizaciones estadísticas y eso “significaba un completo rechazo al determinismo cartesiano-newtoniano”.¹⁴⁶ Esta podría considerarse una muy

¹⁴³ David Hume, *Tratado de la naturaleza humana*, p. 307.

¹⁴⁴ Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy*, p. 65.

¹⁴⁵ Ana Barahona, *Filosofía e historia de la biología*, UNAM, Ciudad de México, 2004, p. 280.

¹⁴⁶ Ídem, p. 280.

importante “lección para los filósofos [... porque] hay que respetar más el pudor con que la naturaleza se esconde detrás de enigmas e incertidumbres”.¹⁴⁷

El determinismo cartesiano-newtoniano estaba sustentado en una cosmovisión religiosa, que incluía conceptos tales como que el cuerpo humano está estructurado como una máquina hecha por Dios, “incomparablemente mejor ordenada y [que] posee movimientos más admirables que ninguna otra de las que pueden inventar los hombres”.¹⁴⁸ Por su parte, Darwin aceptaba “el estricto funcionamiento de lo que denominaba leyes naturales en el nivel fisiológico, pero era consciente de los procesos del azar (estocásticos) en el nivel del organismo”.¹⁴⁹ Lo cierto es que, en la actualidad, los científicos no apoyan la idea de una línea determinista para explicar el origen de la vida o la evolución de las especies; antes bien, consideran que en el Cosmos se han demostrado condiciones de incertidumbre para la evolución de formas avanzadas de vida, o que quizás

“las formas de vida compleja evolucionan fácilmente, pero la inteligencia y las sociedades técnicas requieren un conjunto improbable de coincidencias: del mismo modo que la evolución de la especie humana dependió del fallecimiento de los dinosaurios y de la recesión de los bosques en la era glacial”.¹⁵⁰

Son a menudo condiciones fortuitas las que han influido en la evolución genética de las especies. El surgimiento de la vida es quizá “la excepción de las excepciones: la formación de lo orgánico”.¹⁵¹ ¿Por qué entonces esa excepción de excepciones se dio en esta región del cosmos y no en otra? No hay una respuesta definitiva, quizá sea porque “la condición general del Universo es el caos por toda la eternidad”.¹⁵² Sin embargo, aun en ese caos azaroso donde surgió y evolucionó la vida, existen leyes que nos ayudan a explicarlo.

De esta manera, tanto la bioquímica de los seres vivos como la composición de la materia inorgánica, tienen en común las leyes elementales de los átomos, por más que en ellos more la incertidumbre. Partiendo así de la clasificación tradicional

¹⁴⁷ Friedrich Nietzsche, *La gaya ciencia*, Ediciones Brontes, Barcelona, 2015, p. 24.

¹⁴⁸ René Descartes, *El discurso del método*, p.25.

¹⁴⁹ Ana Barahona, *Filosofía e historia de la biología*, p. 280.

¹⁵⁰ Carl Sagan, *Cosmos*, p. 298.

¹⁵¹ Friedrich Nietzsche, *La gaya ciencia*, p. 119.

¹⁵² Ídem.

de los reinos presentes en nuestro planeta, tenemos los siguientes: minerales, plantas, animales y seres humanos. Estos grupos han sido considerados

“como poseedores de distintas naturalezas, constituidos también de distinta materia y determinados por diferentes fuerzas. Ahora sabemos que siempre es la misma materia, con los mismos compuestos químicos que pueden estar presentes en cualquier objeto, mineral, animal o planta; asimismo, las fuerzas que actúan en las diferentes partes de la materia son las mismas en cualquier tipo de objeto. Lo que distingue a un ser de otro es el tipo de conexión que es primordial en ciertos fenómenos”.¹⁵³

Cabe aclarar que el concepto de la vida no puede explicarse tan sólo con ecuaciones de física o química. El indeterminismo asociado a las líneas de evolución de las especies no proviene de la incertidumbre cuántica, aunque “es lógicamente posible que la propia vida excluya la completa determinación de su estructura físico-química subyacente”.¹⁵⁴ Si se diera el caso que contáramos con una descripción completa y determinista de los procesos físico-químicos de todos los organismos, aun así la incertidumbre no podría quedar descartada, pues habría que añadir conceptos tales como “percepción, adaptación y afectación”.¹⁵⁵ Después de todo

“En la ciencia moderna ha habido una tendencia creciente a explicar los procesos biológicos como consecuencias de las leyes de la física y la química; sin embargo, el tipo de estabilidad que es desplegada por un organismo vivo es de una naturaleza diferente a la estabilidad de los átomos o los cristales. Es una estabilidad de procesos o funciones más que una estabilidad de formas”.¹⁵⁶

En esta amalgama tan rica en diversidad como lo es la vida en nuestro planeta –misma que ha sido propiciada por condiciones astronómicas, físico-químicas y geológicas nutridas por el azar– tal vez lo mejor estructurado sea el lenguaje que utilizamos para describir su taxonomía. Las palabras empleadas para clasificar la vida no son elegidas al azar, porque éstas pertenecen a una ciencia que busca el orden dentro del caos. Sin embargo, siguen apareciendo sorpresas biológicas en busca de una explicación. En el fondo del mar, por ejemplo, no dejan de aparecer

¹⁵³ Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy*, p. 81.

¹⁵⁴ Ídem, p. 79.

¹⁵⁵ Ibídem, p. 78.

¹⁵⁶ Íd., p. 128.

criaturas asombrosas que todavía no han sido clasificadas: “el monstruo cuenta como en una caricatura, la génesis de las diferencias, y el fósil recuerda, en la incertidumbre de sus semejanzas, los primeros intentos obstinados de la identidad”.¹⁵⁷

Y cuando los cambios en la genética son propiciados por la intervención humana, no puede soslayarse la posible incidencia de la incertidumbre cuántica en los resultados obtenidos, porque “los experimentos que derivan en mutaciones biológicas producidas por radiaciones muestran, tanto la relevancia de las leyes estadísticas de la teoría cuántica, como la existencia de mecanismos de amplificación”.¹⁵⁸ Quiere decir que el azar biológico nunca podrá estar exento de la estructura cuántica subyacente.

Si vamos más allá de la biología e incluimos a la psicología en esta discusión, no cabría la menor duda de que los conceptos conjugados de física, química y evolución serían **insuficientes** para describir los fenómenos psíquicos. En este punto, la existencia de la teoría cuántica ha cambiado nuestra actitud respecto a lo que creíamos en el siglo XIX. Durante ese periodo algunos científicos estaban inclinados a creer que los fenómenos psicológicos podían ser explicados “en última instancia con base en la física y química del cerebro [... sin embargo, no podemos obviar] el hecho de que la mente humana se considera objeto y sujeto en el proceso científico de la psicología”.¹⁵⁹

Además de esta dualidad sujeto-objeto (que por cierto en el campo de la física clásica era cuestionable), no hay una versión absolutamente determinista de la conducta humana. Sin que ésta se estudie como una ciencia exacta y “a fin de que tenga sentido para nosotros la compleja conducta de las personas, hacemos inferencia acerca de sus intenciones, emociones, motivaciones y rasgos de personalidad”.¹⁶⁰ Por su parte, el lenguaje del subconsciente tiene en Freud y en Lacan a un par de connotados estudiosos, quienes tampoco ven en el psicoanálisis una ciencia exacta como las matemáticas. A pesar de la estructura analítica tan

¹⁵⁷ Michel Foucault, *Las palabras y las cosas*, p. 174.

¹⁵⁸ Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy*, p. 129.

¹⁵⁹ Ídem, p. 80.

¹⁶⁰ Floyd L. Ruch, *Psicología y vida*, p. 264.

esquemática de Freud, la cual incluye partes específicas de la personalidad (*ego*, *id*, *superego*), pulsiones fundamentales (*Eros* y *Thánatos*), etapas del desarrollo psicosexual, una serie de complejos, etcétera, cada individuo representa una incertidumbre en sí misma. Cada tratamiento es diferente e incluso puede llevar años concluirlo.

Por su parte, Lacan afirma que el subconsciente está estructurado como un lenguaje y que en la constitución del sujeto se anudan las dimensiones de lo real, lo imaginario y lo simbólico. El tratar de descubrir “hechos o principios desconocidos puramente en el pensamiento es una afirmación que puede provocar la contradicción [... empero] la incertidumbre de esa proposición no parece restarle atractivo”.¹⁶¹ Es decir, la exploración que el analista hace del pensamiento del sujeto ha de mostrarle a éste pensamientos y sensaciones que podrían haberle sido desconocidos y, no obstante, esta incertidumbre es parte del proceso mismo de sanación.

Si se nos permite una analogía, vemos que con el Psicoanálisis desaparece ese conflicto que se da entre la física clásica y la mecánica cuántica, en donde tanto en aquél como en ésta no importa que el sujeto participe del proceso de recopilación de información. Recordemos que la física clásica puede ser considerada como esa idealización en la que podemos hablar del mundo como algo completamente separado del sujeto. Y ahora, con los planteamientos de la teoría cuántica, el hombre como sujeto de la ciencia es traído a colación, a través de las preguntas que planteamos a la naturaleza en los términos apriorísticos de las ciencias humanas. Cabe considerar que, en esa exploración de la naturaleza humana a través del psicoanálisis, podría aplicar lo mismo que en la física cuántica: el acto de medir altera el fenómeno. Es decir, es muy probable que el acto de participar en una sesión de psicoanálisis, nos haga presentarnos ante el analista como una persona diferente.

Abordando ahora una actividad humana eminentemente subjetiva, podremos argumentar que la incertidumbre no solamente es inherente, sino incluso deseable, a los procesos creativos. Nos referimos desde luego a las actividades artísticas y,

¹⁶¹ Slavoj Žižek, *Lacan: los interlocutores mudos*, Ediciones Akal, Madrid, 2010, p. 96.

en primera instancia, quisiera hacer una referencia a un filme de Ettore Scola, *Qué extraño llamarse Federico*, del año 2013. Aquí, el cineasta recuerda los años que convivió con su amigo Federico Fellini, justo cuando ambos se ganaban la vida elaborando tiras cómicas. En uno de los paseos que los dos camaradas hacen por la Roma nocturna, se encuentran con un pintor callejero, de esos que usan gises de colores para plasmar escenas de perspectiva engañosa sobre las aceras. Durante la conversación que se sucede, el pintor en cuestión expresa su opinión de manera contundente: “la certeza destruye la creatividad artística”.

En efecto, nada más desfavorable para un artista que su público sepa de antemano qué es lo que se espera de una obra en proceso de creación. La sorpresa, lo insólito, incluso lo absurdo, es uno de los ingredientes principales de una pieza de teatro como *Esperando a Godot*, o de un cuadro de enigmática abstracción geométrica pintado por Kandinsky (“igualdad y desigualdad, repetición y simetría, así como ciertas estructuras que juegan un rol fundamental tanto para el arte como para las matemáticas”¹⁶²); o bien, ¿cuán inesperado debió haber sido el surgimiento del dodecafonismo, introducido al mundo de la música por Arnold Schönberg?

Tal vez la crítica sí que necesita de un lenguaje preciso. Esto, con el fin de analizar los conceptos derivados de las obras de arte, incluyendo por supuesto a las más estrafalarias o exóticas. Me pregunto qué nuevas ideas surgieron en la mente del primer crítico que presenció el *teatro de la crueldad* de Antonin Artaud. Indudablemente, debieron actualizarse los términos habitualmente empleados.

Las palabras más precisas no pueden sustraer la incertidumbre en la creatividad del arte. Sirva como ejemplo el ejercicio magistral que realiza Michel Foucault en el primer capítulo de su libro *Las palabras y las cosas*, en donde se hace una descripción lo más detallada posible del cuadro *Las meninas* de Velázquez. Se trata de doce páginas dedicadas a describir cada uno de los personajes, los contornos, las luces, las sombras, los reflejos en el espejo, y el sinnúmero de elementos que constituyen este ícono del arte universal. He aquí tan sólo una muestra:

“El pintor es perfectamente visible en toda su estatura; en todo caso no queda oculto por la alta tela que, quizá, va a absorberlo dentro de un momento, cuando, dando un

¹⁶² Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy*, p. 82.

paso hacia ella, vuelva a su trabajo; sin duda, en este instante aparece a los ojos del espectador, surgiendo de esta especie de caja virtual que proyecta hacia atrás la superficie que está por pintar”.¹⁶³

Por más que sea un ejercicio tan minucioso por convertir un lienzo en palabras, esto no va a sustituir jamás al propio lienzo. Tal vez lo más relevante de un artista es que posea un estilo propio, capaz de sorprendernos. Y si bien “un estilo de arte puede ser definido por una serie de reglas formales que son aplicadas al material constitutivo de ese arte”¹⁶⁴, dichas reglas están hechas para romperse, o al menos para modificarse conforme a las necesidades del artista. Esa ruptura de reglas es un desafío a cualquier determinismo.

¿Qué sería, por ejemplo, de las vanguardias literarias si estuvieran sujetas a un determinismo, quizá moldeado por el lenguaje de una crítica adversa? Fue rompiendo moldes que James Joyce, sobre todo en sus últimas obras (*Ulises* y *Finnegan's Wake*) fue capaz de mostrar “la naturaleza humana [... a través de] su magistral manejo del lenguaje y el desarrollo de nuevos métodos literarios”.¹⁶⁵ En efecto, fue al explorar caminos insospechados de la literatura que Joyce empleó técnicas experimentales y así “combinó las tradiciones literarias del realismo, el naturalismo y el simbolismo, plasmándolos en un estilo y una técnica únicos”.¹⁶⁶

Si *Ulises* es una obra que rompe todos los moldes a través de su “mimetismo oral y la parodia de estilos literarios como método narrativo”¹⁶⁷ ¿qué podremos decir de *Finnegan's Wake*, escrita como “una serie ininterrumpida de sueños que tiene lugar durante una noche en la vida del personaje Humphrey Finnegan Earwicker”?¹⁶⁸ ¡Cuánta incertidumbre no habrá en nuestros sueños cotidianos! Cada experiencia onírica es una aventura totalmente inesperada; aunque, de acuerdo con el psicoanálisis, no totalmente inexplicable.

Llegados a este punto, no podemos omitir la relación que se ha dado en los últimos años entre los conceptos de la física cuántica y el cine. Los varios filmes

¹⁶³ Michel Foucault, *Las palabras y las cosas*, p. 21.

¹⁶⁴ Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy*, p. 82.

¹⁶⁵ James Joyce, *Retrato del artista adolescente*, Ediciones Nuevo Talento, México, 2000, p. 5.

¹⁶⁶ Ídem, p. 8.

¹⁶⁷ Ibídem, p. 8.

¹⁶⁸ Íd., p. 8.

que han surgido a este tenor, parten del supuesto de que “la historia del mundo está constantemente dividiéndose; lo hace cada vez que un cuerpo macroscópico se asocia a una multiplicidad de estados cuánticos”.¹⁶⁹ Desde luego debemos insistir en que se trata de categorías diferentes, es decir, la incertidumbre cuántica pertenece a un estadio microscópico de la realidad, mientras que el cine hace una analogía de lo que ocurre a ese nivel (v. g. la superposición de posiciones de una partícula) para trasladarlo a nivel humano.

Podríamos referirnos a la típica historia de eventos paralelos en donde los personajes conviven en un presente hipotético con sus dobles (*Multiplicity*, Harold Ramis, 1996), o en donde un punto en el espacio-tiempo puede bifurcarse de maneras muy diversas, trayendo consecuencias insospechadas a los personajes (*The Butterfly Effect*, Eric Bress, 2004). En ambos casos la incertidumbre cuántica trasciende el mundo subatómico para, mediante **analogías** ubicadas en un nivel macroscópico, incidir en la realidad de modos impredecibles.

Por medio de estos ejemplos, deseamos solamente señalar la influencia que ha tenido la física cuántica en la creación de historias cinematográficas y cómo es que “esa variedad inconcebible de historias ha provisto material para la ciencia ficción [... y nosotros] vivimos tan sólo una de esas historias que ha permitido las condiciones necesarias para que puedan existir seres conscientes de sí mismos”.¹⁷⁰

En cierto sentido, las reflexiones plasmadas en estos últimos párrafos son una comparación entre el lenguaje utilizado por la ciencia y el que es utilizado por el arte. Después de todo

“los dos procesos, el de la ciencia y el arte, no son muy diferentes. Tanto la ciencia como el arte han formado, a lo largo de los siglos, un lenguaje humano por medio del cual podemos hablar acerca de las partes más remotas de la realidad y, por otra parte, los conjuntos coherentes de conceptos, así como los diferentes estilos en el arte, conforman diferentes palabras o grupos de palabras en este lenguaje”.¹⁷¹

Derivado de lo anterior, si bien es cierto que el lenguaje en torno a **conceptos** en el arte y en la ciencia tiende a una estructura lógica y racional, ello no implica

¹⁶⁹ Steven Weinberg, *The Trouble with Quantum Mechanics*, The New York Review of Books, enero 19, 2017, p. 8.

¹⁷⁰ Ídem, p. 8.

¹⁷¹ Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy*, p. 83.

que su materia de estudio sea completamente determinista. Lo mismo aplica para las demás disciplinas del conocimiento que hemos analizado en este capítulo: el asombro ante la gran variedad de elementos químicos que han conformado el universo conocido, a través de una sinfonía dictada por el azar; o las formas tan diversas y sorprendentes con que la vida se ha desarrollado en nuestro planeta, o el enigma del comportamiento humano que tiene tantas respuestas como personas hay en el mundo, y también la creatividad que rompe reglas en el arte y en la literatura.

Es quizás esa retroalimentación siempre renovada entre el lenguaje y las disciplinas del conocimiento, lo que hace que éstas sean entretenidas, retadoras y evolutivas. ¡Qué sería de la poesía si sus formas, sus temas y sus intenciones fueran completamente deterministas! Es precisamente el elemento sorpresa lo que acompaña la aparición de poemas tan enigmáticos como *Muerte sin fin* de José Gorostiza. Por eso es que, en las ciencias y en las artes, al proponerse explorar la naturaleza, o en su caso la sensibilidad humana, es difícil “situarse en medio de esta *rerum concordi discors* [esta disputa], de toda esta maravillosa incertidumbre, y no preguntar, no sentir el deseo ni el placer de la interrogación”.¹⁷²

No se entienda que la búsqueda del determinismo es algo exento a los anhelos humanos. Una falta absoluta de certezas puede ser sumamente conflictiva en algunas situaciones. La familia, la sociedad y la justicia proponen basarse en modelos certeros de convivencia. Husserl sostenía que “proponer una certeza absoluta, que no se encuentra en sitio alguno, es un síntoma de que el hombre se encuentra llamado a una nueva historicidad de la vida humana”.¹⁷³ Quizás esta nueva historicidad debiera construirse a partir de una convivencia armónica entre la certeza y la incertidumbre.

¹⁷² Friedrich Nietzsche, *La gaya ciencia*, p. 41.

¹⁷³ José Luis Villacañas, *Historia de la Filosofía contemporánea*, p.174

CONCLUSIONES

A través de esta tesis nos propusimos, como principal hilo conductor, abordar los cuatro problemas planteados en la introducción. Estas cuatro cuestiones fueron vinculadas mediante algunos conceptos fundamentales aquí manejados: el conocimiento de la naturaleza, el sujeto y el objeto del conocimiento, los nexos entre la incertidumbre epistemológica y la científica, así como su relación con otras áreas del conocimiento.

Veamos los resultados obtenidos respecto al **primer problema** referente a si, en la exploración del mundo atómico, pudiera encontrarse a lo largo de la historia una retroalimentación conceptual proveniente de la filosofía. Este fue la cuestión más fácil de resolver porque, aunque surgió en la época de los presocráticos –teniendo en Demócrito y Leucipo a sus más claros representantes– muy pronto encontró un eco sólido por parte de filósofos y científicos de distintas latitudes.

Un supuesto a considerar es si actualmente podemos seguir constatando una retroalimentación fructífera entre la ciencia y la filosofía, sobre todo en lo referente al mundo atómico. Si bien con los presocráticos el estudio de la naturaleza fue visto como una actividad complementaria a la vida contemplativa, hoy en día un filósofo no es aceptado a priori como experto en mecánica cuántica, o viceversa.

Esto no descarta la posibilidad de que científicos de diversa formación puedan compartir intereses epistemológicos comunes. Tal vez una de las principales tareas de la filosofía de la ciencia sea propiciar herramientas argumentativas y enunciados epistemológicos, acordes a esa agenda común. Aunque las entidades que intercambian esos enunciados sean científicos individuales, el esfuerzo en sí comprende el avance del conocimiento humano en general. Por otra parte, el resultado de su práctica depende que se los vea como elementos constitutivos de un todo mayor: la comunidad de profesionales de una especialidad científica o, en el mejor de los casos, una comunidad del conocimiento global.

El **segundo problema** a analizar fue si podía establecerse un vaso comunicante entre la incertidumbre epistemológica y la científica. A mi parecer, este fue el asunto más relevante para este trabajo de titulación, pues constituyó un gran hallazgo el eco que se da desde la incertidumbre filosófica hacia la incertidumbre cuántica, y viceversa. Es decir, resultó sorprendente que los físicos de inicios del siglo XX manejaran sus controversias respecto a la incertidumbre, en términos completamente filosóficos. En este sentido, los argumentos aquí presentados por parte de Einstein, Bohr y Heisenberg son los que alimentaron las principales discusiones.

Independientemente de que no pudo constatarse un punto de acuerdo definitivo en estas discusiones, lo importante es que ambas posturas científicas (y sus correspondientes sustentos filosóficos) se han mostrado útiles a lo largo del tiempo. Tenemos, por un lado, la teoría de la relatividad gracias a la cual se logró comprobar la curvatura de la luz al pasar por un campo gravitatorio. Pero también podemos mencionar que “un análisis de la fuerza de gravedad desde el punto de la mecánica cuántica podría mostrar cómo la causalidad, la incertidumbre y la estructura del espacio y el tiempo pueden ser integradas armoniosamente”.¹⁷⁴

Otro aspecto enfatizado en nuestro análisis acerca de la incertidumbre epistemológica y la científica es el papel que juega el observador en el estudio de la naturaleza. Además de los argumentos presentados en torno al realismo einsteiniano (la ausencia del sujeto) y a la visión cuántica que involucra al observador, podríamos hacer aquí una proyección hacia otras áreas del conocimiento. Concretamente, pensemos en las disciplinas humanas, en donde las controversias sociales, políticas y económicas pueden dar lugar a posturas irreconciliables. Esto se liga a lo anterior en el sentido de que, conceptualmente, en estas disciplinas humanas el objeto de estudio es también el sujeto que implementa las soluciones; es decir, el drama de nuestra existencia es que nosotros mismos somos protagonistas y espectadores.

¹⁷⁴ Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy*, p. XXI.

El **tercer problema** planteado se deriva de las argumentaciones anteriores. Esto implica que, si se acepta la incertidumbre como una característica inherente a la adquisición de conocimiento, ¿podemos hacerla concordar con la teoría y la praxis de la ciencia física? Afortunadamente, en el mundo actual se pueden citar muchas aplicaciones prácticas en este tenor. Y así, más allá de la física atómica, las primeras aplicaciones de la mecánica cuántica incluyen el enlace de átomos en moléculas, la radioactividad del núcleo atómico, la conducción eléctrica, el magnetismo, la radiación electromagnética y la superconductividad.

Más allá de los avances tecnológicos que se han dado entre el siglo XX y el actual, podemos decir que la física moderna, con todo y la incertidumbre asociada a sus teorías, ha abierto quizás una puerta hacia un panorama más amplio en la relación entre la mente humana y la realidad. Esto es, en esa convivencia entre la teoría y la praxis, la física cuántica ha hecho posible un nuevo enfoque de los procesos atómicos, al dar un lugar preponderante tanto a la descripción del espacio-tiempo, como a su objetivación a través de procesos de observación y medición.

Una controversia interesante al confrontar la teoría y la praxis con la incertidumbre es que, si la realidad es tan inasequible por ser indeterminada, ¿deberíamos entonces conformarnos con esa idea que tenemos de la realidad, que tan sólo se plasma en fórmulas y modelos? Tal vez Platón estaría muy satisfecho con esta propuesta porque, en tal caso, la idea sería más real que su realización material. Es decir, como no tenemos certeza absoluta de nuestro conocimiento de la naturaleza, nos acogemos a la idea que nos formamos de la misma. Sin embargo, las discusiones incluidas en esta tesis apuntan a que el fin último de ambas posturas (determinismo e indeterminismo) es propiciar una concordancia a largo plazo entre los modelos y la realidad.

Lo anterior quiere decir que ninguna de las posturas científicas, presentadas en este trabajo, hace una defensa a ultranza en favor del **escepticismo**. Ni Heisenberg, y desde luego tampoco Einstein, dudan de si están aplicando sus modelos y teorías a una realidad existente. Lo que están en juego son los conceptos que definen esa realidad. El escepticismo en contra de conceptos científicos precisos no significa que debería haber una limitación definitiva para la aplicación

del razonamiento epistemológico. Después de todo, si el mundo real cambia con el tiempo, ¿por qué esperar que no haya un cambio en los paradigmas, o en las teorías de cada comunidad científica, que buscan correspondencia con esa realidad?

El **último problema** planteado fue en torno a si la incertidumbre puede convivir funcionalmente en otras áreas del conocimiento, además de la ciencia física. Me parece que los ejemplos citados en torno a disciplinas como la química, la biología, la psicología, el cine y la literatura, muestran cómo la incertidumbre no está excluida del quehacer diario en estas áreas del saber. Más aún, en algunos casos la incertidumbre es intrínsecamente deseable, como en el arte.

Lo anterior no excluye que existan posturas en las que el determinismo es defendido, a todo trance, por parte de algunos sectores de la población mundial. Tal es el caso de los que abogan por el creacionismo en el caso del origen de la vida, lo cual es característico de varias religiones.

En esta confrontación del determinismo religioso versus la incertidumbre científica, lo relevante no es intentar un estado final de unificación, sino evitar las radicalizaciones y los fanatismos. Ahora más que nunca debe pugnarse por una tolerancia a nivel global, en la que puedan convivir tradiciones culturales muy diversas y así combinar esfuerzos humanos de orígenes diferentes. Si bien el determinismo doctrinal podría tender a múltiples versiones de cierta vida contemplativa (no necesariamente filosófica) y la incertidumbre científica basarse más bien en la constatación empírica, no está descartada la búsqueda de un nuevo balance entre el pensamiento y los hechos, entre la actividad y la meditación, entre la *bios theoretikos* y la *bios praktikos*.

El afán por hallar ese nuevo balance, haciendo a un lado radicalizaciones y fanatismos, ha permitido a un mayor número de personas darse cuenta de que las doctrinas quizá no sean tan importantes para la sociedad como se había pensado. No es difícil imaginar a un sujeto, o un grupo humano, que ya esté acostumbrado a realizar actividades prácticas cuyos métodos deban actualizar periódicamente (por ejemplo, la ingeniería civil, las prácticas mercadológicas y financieras) y lo llevan cabo sin mayores complicaciones. Lo irónico es que esos sujetos que actualizan sus praxis sin mayores objeciones, podrían ser los mismos que se nieguen a

actualizar sus creencias teóricas o ideológicas. Son abiertos respecto a los aspectos que traen beneficios inmediatos, pero radicales en sus doctrinas.

Finalmente, esto aplica también para las teorías científicas que se vuelven famosas, pero que años después deben ser revisadas y quizás superadas. Los paradigmas en la ciencia no deben volverse artículo de fe y, por lo tanto, siempre estarán sujetos a una actualización. En este sentido, la influencia de la ciencia moderna podría favorecer una actitud de tolerancia que permee hacia otras actividades humanas.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbagnano, Nicola, *Diccionario de Filosofía*, Fondo de Cultura Económica, México, 2012.
- Alonso, Marcelo, *Mecánica Cuántica: Fundamentos y aplicaciones*, Ediciones Universidad de Salamanca, 2009.
- Aristóteles, *Física*, Editorial Gredos, Madrid, 1995.
- Aristóteles, *Metafísica*, Editorial Gredos, Madrid, 1994.
- Barahona, Ana, *Filosofía e historia de la biología*, UNAM, Ciudad de México, 2004.
- Benítez, Laura, *El mundo en René Descartes*, UNAM, México, 1993.
- Benítez, Laura y José Antonio Robles, *El espacio y el infinito en la modernidad*, Publicaciones Cruz, México, 1993.
- Carbó-Dorca, Ramón, *¿Por qué las cosas son así y no de otra manera?*, Universidad de Oviedo, Girona, 2001.
- Descartes, René, *El discurso del método*, Maxtor, Barcelona, 2008.
- Descartes, René, *Meditaciones metafísicas*, Panamericana Editorial, México, 2006.
- Einstein, Albert, M. Born, *Correspondencia 1916-1955*, Editorial Siglo XXI, México, 1973.
- Einstein, Albert, *On the Method of Theoretical Physics*, Clarendon Press, Oxford, 1933.
- Einstein, Albert, *Physik und Realität*, Franklin Institute Journal, Filadelfia, 1936, vol. 221.
- Einstein, Albert, "Remarks to the Essays Appearing in this Collective Volume", en P. A. Schlipp (ed.). *Albert Einstein Philosopher-Scientist*, vol. 2, 1944.

Einstein, Albert, B. Podolsky y N. Rosen, *¿Puede considerarse completa la descripción de la realidad física por parte de la mecánica cuántica?*, Instituto de Estudios Avanzados de Princeton, Nueva Jersey, 1935.

Foucault, Michel, *Las palabras y las cosas*, Editorial Siglo XXI, México, 2010.

Gadamer, Hans Georg, *El inicio de la Sabiduría*, Ediciones Paidós, Barcelona, 2001.

Heisenberg, Werner, *Physics and Philosophy: The Revolution in Modern Science*, Harper Perennial, Nueva York, 2007.

Holton, Gerald, *La imaginación científica*, FCE, México, 1985.

Hume, David, *Tratado de la naturaleza humana*, <https://www.dipualba.es/publicaciones/LibrosPapel/LibrosRed/Clasicos/Libros/TraNatuHume.html>, 2001.

Husserl, Edmund, *La crisis de las ciencias europeas y la fenomenología trascendental*, Prometeo Libros, Buenos Aires, 2008.

Jara, Salvador, *El ocaso de la certeza: diálogo entre las ciencias y las humanidades*, Fondo Editorial Morevallado, Morelia, 2010.

Joyce, James, *Retrato del artista adolescente*, Ediciones Nuevo Talento, México, 2000.

Kant, Immanuel, *Crítica de la razón pura*, Editorial Taurus, México, 2013.

Klein, Étienne, *La física cuántica*, Siglo XXI Editores, México, 2016.

Kuhn, Thomas S., *Black-Body Theory and the Quantum Discontinuity*, The University of Chicago Press, 1978.

Lasalle Ruíz, José María, *John Locke*, Universidad Carlos III, Madrid, 2001.

Lawrence, D. H., *Pansies: Poems*, Martin Secker editor, Londres, 1929.

Lederman, Leon y Dick Teresi, *La partícula divina: si el universo es la respuesta, ¿cuál es la pregunta?*, Editorial Crítica, Barcelona, 2009.

Locke, John, *Essay Concerning Human Understanding*, Hernnstein & Murray, Londres, 1994.

Locke, John, *La conducta del entendimiento y otros ensayos póstumos*, Editorial Anthropos, Barcelona, 1992.

Locke, John, *The Works of John Locke*, Library of the University of California, 1824.

Moya, Carlos, *Sentido y sinsentido: Wittgenstein y la crítica del lenguaje*, Colección Filosofías, Madrid 2008.

Newton, Isaac, *Principios matemáticos de la filosofía natural*, Editorial Alianza, Madrid, 2004.

Nieto Blanco, Carlos, *Lecturas de Historia de la Filosofía*, Universidad de Cantabria, Santander, 1996.

Nietzsche, Friedrich, *La gaya ciencia*, Ediciones Brontes, Barcelona, 2015.

Pais, Abraham, “Einstein and the quantum theory” - *Reviews of Modern Physics* 51, Princeton, 1979.

Pessoa, Fernando, *El libro del desasosiego*, Acantilado, Barcelona, 2002.

Platón, *Apología de Sócrates*, Editorial Universitaria, Santiago de Chile, 2005.

Platón, *Diálogos: “Timeo o de la naturaleza”*, Editorial Porrúa, México, 2009.

Rioja, Ana, “Einstein: el ideal de una ciencia sin sujeto”, *Revista de Filosofía* No. 2/87-108 (3ª época), Editorial Universidad Complutense, Madrid, 1989.

Ruch, Floyd L., *Psicología y vida*, Editorial Trillas, México, 2000.

Sagan, Carl, *Cosmos*, Editorial Planeta, Barcelona, 1982.

Solé Bellet, Albert, *Realismo e interpretación en Mecánica Bohmiana*, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 2010.

Villacañas, José Luis, *Historia de la Filosofía contemporánea*, Ediciones Akal, Madrid, 1997.

Weinberg, Steven, *The Trouble with Quantum Mechanics*, The New York Review of Books, enero 19, 2017.

Wittgenstein, Ludwig, *Los cuadernos azul y marrón*, Editorial Tecnos, Madrid, 2009.

Zizeck, Slavoj, *Lacan: los interlocutores mudos*, Ediciones Akal, Madrid, 2010.