

IGNACIO A. SILVA

INDETERMINISMO EN LA NATURALEZA Y
MECÁNICA CUÁNTICA

TOMÁS DE AQUINO Y WERNER HEISENBERG

Cuadernos de Anuario Filosófico

CUADERNOS DE ANUARIO FILOSÓFICO • SERIE UNIVERSITARIA

Ángel Luis González
DIRECTOR

Agustín Echavarría
SECRETARIO

ISSN 1137-2176
Depósito Legal: NA 301-2011
Pamplona

Nº 232: Ignacio A. Silva, *Indeterminismo en la Naturaleza y
Mecánica Cuántica*

© 2011. Ignacio A. Silva

Redacción, Administración y petición de ejemplares

CUADERNOS DE ANUARIO FILOSÓFICO
Departamento de Filosofía
Universidad de Navarra
31080 Pamplona (Spain)

<http://www.unav.es/filosofia/publicaciones/cuadernos/serieuniversitaria/>

E-mail: cuadernos@unav.es

Teléfono: 948 42 56 00 (ext. 2316)

Fax: 948 42 56 36

SERVICIO DE PUBLICACIONES DE LA UNIVERSIDAD DE NAVARRA. S.A.

GRAPHYCEMS, Polígono Industrial San Miguel. 31132 Villatuerta (Navarra)

“Se está echando a perder buena física
por culpa de mala filosofía”

(Werner Heisenberg¹)

1 HEISENBERG, W., *Encuentros y conversaciones con Einstein y otros ensayos*, Alianza, Madrid, 1979, p. 90.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	7
CAPÍTULO I: EL DETERMINISMO Y LA FÍSICA CLÁSICA.....	11
1. El determinismo en la ciencia moderna	11
2. Postulados deterministas de la física clásica.....	15
CAPÍTULO II: EL INDETERMINISMO EN LA FÍSICA CUÁNTICA ...	19
1. La caída del determinismo clásico	19
2. Experimentos clave para la nueva física	23
3. Diferentes interpretaciones de la mecánica cuántica	26
4. El pensamiento de Werner Heisenberg y la física cuántica	29
5. Las relaciones de incertidumbre de Heisenberg	32
6. La interpretación filosófica de las relaciones de incertidumbre según Heisenberg.....	39
6.1. El problema del subjetivismo	40
6.2. La ontología de los fenómenos cuánticos.....	41
6.3. Ley de la naturaleza.....	46
6.4. El principio de causalidad	48
6.5. Problemas de lenguaje.....	50
CAPÍTULO III: CAUSALIDAD E INDETERMINISMO EN LA NATURALEZA SEGÚN TOMÁS DE AQUINO.....	55
1. La causalidad	55
2. División aristotélica de las causas: la causa eficiente en particular	59
3. Causalidad y contingencia en el obrar natural	65

4. Acontecimientos que ocurren <i>ut in paucioribus</i>	70
4.1. <i>Propter concursum duarum causarum</i>	71
4.2. <i>Propter debilitatem agentis</i>	73
4.3. <i>Propter indispositionem materiae</i>	74
5. Indeterminación y grados de ser	75

CAPÍTULO IV: INTERPRETACIÓN FILOSÓFICA DE LA MECÁNICA CUÁNTICA: A MODO DE CONCLUSIÓN	81
1. Ontología y conocimiento de la realidad microfísica	82
2. Causalidad en la realidad microfísica	86
3. Interfenómenos	87
4. La Analogía en la Física Cuántica	88
5. Conclusión	91

INTRODUCCIÓN

¿Podemos prever el futuro de un sistema simplemente analizando su presente? ¿Es suficiente conocer su estado inicial, todas sus características y propiedades, y las leyes que lo rigen para tener certeza de sus estados siguientes?

Esta problemática, antigua como el mismo pensamiento, volvió a las discusiones científicas y filosóficas gracias al avance de la física atómica durante los primeros años del siglo XX. Físicos como Albert Einstein, Niels Bohr, Louis de Broglie o Werner Heisenberg, entre muchos otros, se encontraron con una nueva perspectiva acerca del mundo de lo pequeño, de lo que constituye la misma estructura material de las cosas, y con ella se encontraron con dificultades para conocer y describir este nuevo campo de estudio.

El planteamiento llevado a cabo por Werner Heisenberg de las relaciones de incertidumbre, que sugerían una suerte de indeterminismo del mundo subatómico, rompió definitivamente con la tradición de la física clásica. Esta revolución logró hacer estallar nuevamente las discusiones acerca de la previsión del futuro gracias al conocimiento del presente, la cuestión de la causalidad, y otras.

¿Será posible que nos esté vedado por la misma naturaleza conocerla tanto como para preverla y dominarla? Hasta ahora lo hemos logrado, aunque con cierta dificultad siempre salimos airosos. ¿Por qué entonces será que no podremos seguir adelante con esta visión del mundo? ¿Será acaso que las cosas no suceden por su causa y que todo está regido por el azar, a la indeterminación, como un mero juego de dados?

Científicos de la talla de Albert Einstein no podían sucumbir a tal idea. No podía ser posible que las cosas no estuvieran determinadas a ser de una manera u otra de ante mano. Todo futuro debía estar determinado en su presente: Dios no juega a los dados con el universo.

Sin embargo, otros científicos, Heisenberg el primero de ellos, no dudaron en aceptar lo que su ciencia les mostraba: no podían conocer el presente en su totalidad, y con ello no podían determinar el futuro. Y hasta fueron más lejos:

el mismo presente, de alguna manera estaba indeterminado, y por esa razón su futuro también.

La filosofía no podía quedar al margen de esta discusión, porque era a ella más que a la ciencia a la que le competía resolver dichas cuestiones. Muchas fueron las voces que se alzaron desde toda tradición filosófica: desde marxistas, neo-kantianos, positivistas, y por supuesto no podía quedar excluida la tradición tomista.

En esta última tradición encontramos distintas ramas, posturas u opiniones al respecto. Encontramos quienes sostienen que desde la filosofía de Santo Tomás de Aquino no se puede sostener más que un rígido determinismo natural, ya que todo agente natural está ordenado en su obrar *ad unum*. Entre ellos encontramos a Jacques Maritain¹, o a Juan Enrique Bolzán², para quienes sostener un indeterminismo en el obrar natural sería aceptar algo como un pampsiquismo natural. Otros, sin embargo, dentro de esta misma tradición, aseguran que se puede sostener un indeterminismo en la naturaleza, fundamentado sobre un determinismo, pero que puede ser roto en principio, y que de hecho lo es. Entre estos encontramos Charles De Koninck³, Innocenzo D'Arenzano⁴, Filippo Selvaggi⁵. Por último, encontramos quienes, prudentemente, afirman que no encuentran razones para aceptar una u otra postura, por ejemplo Juan José Sanguineti⁶.

Lo que intentaremos mostrar en este trabajo es que dentro de la filosofía de Santo Tomás podemos encontrar los principios en virtud de los cuales se puede afirmar la posibilidad de cierto indeterminismo del obrar natural, lo que no quita que el obrar de los agentes naturales esté determinado *ad unum*. Intentaremos a su vez mostrar que el indeterminismo que Heisenberg encuentra en la física atómica puede ser compatible con esta doctrina de Tomás y que ésta lo justifica filosóficamente. Veremos que lo que Heisenberg propone puede ser interpretado como un acercamiento a la concepción

1 MARITAIN, J., *Réflexions sur la nécessité et la contingence*, Raison et raisons, Egloff, Paris, 1948.

2 BOLZÁN, J. E., *Filosofía del indeterminismo cuántico*, Sapientia 1964, pp. 169-176.

3 KONINCK, CH. DE, *Réflexions sur le problème de l'indéterminisme*, Revue Thomiste 1937, pp. 227-252 y 393-409.

4 D'ARENZANO, I., *Necessità e contingenza nell'aggire della natura secondo San Tommaso*, Divus Thomas 1961, pp. 28-69.

5 SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo, La problematica moderna alla luce della filosofia aristotelico-tomista*, Editrice Università Gregoriana, Roma, 1964.

6 SANGUINETI, J. J., *Azar y contingencia*, Sapientia, Homenaje a Mons. Derisi, 1988 (XLIII), pp. 59-68.

aristotélica del ente, dejando así de lado una noción de ente parmenídeo, volviendo al ser analógico, para dejar la univocidad del ser.

Asimismo, no está dentro de nuestra intención demostrar en ningún modo que la interpretación de Heisenberg (que se corresponde con la interpretación de Copenhague) sea verdadera o que sea la última teoría que pueda existir para explicar los fenómenos observados. Tampoco queremos mostrar que haya indeterminación al nivel en el que Heisenberg la encuentra, pues puede ser que se dé en niveles aun inferiores. Simplemente intentaremos reflexionar sobre sus ideas a la luz de algunas doctrinas de Tomás de Aquino acerca del obrar natural.

Partiremos de un breve recorrido histórico acerca del determinismo, analizando sus postulados fundamentales. Continuaremos estudiando rápidamente los problemas que se plantearon en la física de principios del siglo XX y sus interpretaciones, para pasar a adentrarnos en la interpretación que Werner Heisenberg hace de la misma, la postulación de las relaciones de incertidumbre y sus interpretaciones filosóficas.

Pasaremos luego a la parte central de nuestro trabajo en la que propondremos el modo en el que obran los seres naturales y por qué encontramos en ellos la posibilidad de fallar o de no conseguir su fin. Analizaremos el principio de causalidad, la noción de causa y las distintas causas, la causalidad en el obrar natural y la contingencia en ese mismo obrar. Por último veremos que a medida que el agente natural está ubicado en los grados inferiores de la escala del ser, su ser será menos pleno, con lo que su obrar será cada vez menos determinado.

Finalmente intentaremos señalar algunos principios para una interpretación filosófica de la física cuántica, con ocasión de lo cual expondremos una breve ontología de los fenómenos cuánticos, de qué manera se los conoce, y cómo opera en ellos la causalidad. Propondremos, además, que la ciencia sacaría gran provecho del método fundado en la analogía del ser, para poder avanzar con firmeza en el conocimiento de la naturaleza.

Me es preciso mostrar mi agradecimiento y admiración al Prof. Dr. Oscar Beltrán. Siempre me ha alentado a interesarme y estudiar estos temas, quien supo acompañarme a lo largo de todo el trayecto de elaboración de este trabajo, con paciencia en largas charlas y discusiones sobre diversas cuestiones. Debo agradecer, también, al Prof. Roberto Courrèges, quien tan liberalmente me ha facilitado bibliografía sobre Filippo Selvaggi. A un gran amigo quien generosamente leyó este trabajo y me brindó numerosas y profundas acotaciones, Prof. Dr. Christian Carlos Carman, con quien también hemos

tenido largas charlas respecto de los temas aquí tratados. No puedo dejar de mencionar y brindar mi reconocimiento, por su aliento y apoyo, a la Prof. Dra. Olga Larre y a Prof. Dr. J. E. Bolzán, quien amablemente ha contestado mis preguntas y aconsejado en estos arduos temas. Espero poder seguir su consejo: estar siempre inquieto en el pensamiento, pues eso es lo que mueve a filosofar.

CAPÍTULO I

EL DETERMINISMO Y LA FÍSICA CLÁSICA

1. EL DETERMINISMO EN LA CIENCIA MODERNA

El cuestionamiento acerca del determinismo en la naturaleza es un problema tan antiguo como la filosofía misma. Aristóteles, ya nos comenta acerca de escuelas y autores que plantean determinismos de tipo ontológico, algunos suavizados con indeterminismos lógicos o gnoseológicos¹. Y lo mismo vemos a lo largo de toda la historia de la filosofía. Casi ninguno de los grandes filósofos de cualquier época dejó de tomar postura al respecto. Así, los megáricos y estoicos asumieron un determinismo cuasi fatalista², Avicena postuló una rígida noción de la causalidad eficiente³, Suárez propuso una noción determinista de la causalidad natural⁴, y Kant asumió sus consideraciones dentro de su filosofía del conocimiento *a priori* describiendo la causalidad con matices deterministas⁵.

El primer paso será, pues, plantear qué se entiende por determinismo. Brevemente se lo puede definir mediante el postulado que reza: “dadas las mismas causas en las mismas circunstancias, el mismo efecto se dará con necesidad”, o, lo que es lo mismo, “el efecto se sigue siempre con necesidad puesta la causa”.

Durante el Renacimiento del siglo XVI se renovó el interés por el mundo físico, inaugurando un nuevo tipo de búsqueda para conocerlo, comprenderlo y dominarlo. Pero sólo a comienzos del siglo XVII comenzó a imponerse la mentalidad de lo que llamaremos determinismo físico, no sólo científico, sino también filosófico⁶. Con Francis Bacon, Galileo Galilei y René

1 ARISTÓTELES, *Metafísica IX*.

2 ARISTÓTELES, *Metafísica IX*, 1046b 29-33.

3 AVICENA, *Le Livre de Science, Métaphysique*, Les Belles Lettres, Paris, 1955, pp. 136-137.

4 SUÁREZ, F., *Disputationes metaphysicae*, disp. XIX, sect. x, par. 5, Gredos, Madrid, 1964.

5 KANT, I., *Crítica de la razón pura*, Alfaguara, Madrid 1988, 6ª ed., el apartado *Postulados deterministas de la física clásica*.

6 Para consideraciones acerca del surgimiento de la ciencia moderna en los siglos XVI y XVII, ver HARRISON, P., *The Bible, Protestantism and the Rise of Modern Science*, CUP, Cam-

Descartes nace el nuevo espíritu científico moderno, en el que se sintetizan la importancia de la experiencia y la teoría, el reconocimiento de la fecundidad matemática y la autonomía de la ciencia con respecto a la filosofía y la fe. Bacon, con su *Novum Organum*, puso de manifiesto la necesidad de la observación y del método inductivo para penetrar en el conocimiento de la naturaleza. Descartes, con sus reglas sobre el método en su *Discurso sobre el método*, mostró la importancia de la participación de la razón y la matemática en los descubrimientos y la construcción de la ciencia. Pero fue Galileo en su extensa obra quien logró fundir orgánicamente observación y experiencia con razón y matemática, experiencias sensibles y demostraciones necesarias. Sólo él fue quien logró el nuevo método de la ciencia moderna⁷.

Para Galileo, tanto como Descartes y Bacon, la actividad natural de las causas, debe ser explicada sin ningún tipo de antropomorfismo o finalidad, utilizando una fuerza ciega, que siempre cumple su cometido, fuerza que es pura causa eficiente. El efecto producido es tan sólo el término de la acción de un agente natural. No hay ningún fin ni intención en el obrar de los agentes naturales. “Causa”, dice Galileo, “es aquella que una vez puesta el efecto se sigue, pero removida, el efecto no se logra”⁸. Galileo afirma que dado el mismo efecto, se sigue siempre la misma causa, ya que la naturaleza produce sus efectos siempre con necesidad. Hay así una concatenación causal rígida, invariable, que el mismo Galileo admite: “si es cierto que de un efecto una sola es la razón primaria, y que tras la causa y el efecto hay una conexión firme y constante, es necesario que cada vez que se observe una alteración firme y constante del efecto, haya una alteración firme y constante en la causa”⁹. Galileo puede afirmar esto porque habla de una naturaleza inexorable e inmutable, que nunca va más allá de los límites de las leyes impuestas¹⁰, como antes dijimos.

Este concepto de causa que Galileo utiliza, que poco a poco va adentrándose en toda la mentalidad científica, termina confundándose con el deter-

bridge, 2001, y HARRISON, P., *The Fall of Man and the Foundations of Science*, CUP, Cambridge, 2007.

7 Cfr. SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, pp. 183-185; *Filosofía de las ciencias*, Sociedad de Educación Atenas, Madrid, 1955, pp. 19-20; *Filosofía del mundo, Cosmología filosófica*, Editrice Università Gregoriana, Roma, 1985, 2 vol., pp. 63-65, *Scienza e metodologia, Saggi di epistemologia*, Editrice Università Gregoriana, Roma, 1962, pp. 44-46.

8 GALILEO GALILEI, ‘Diversi Fragmenti attenenti al trattato delle cose che stanno su l’acqua’, *Le Opere*, Ed. Naz., 1685, IV, 22. SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, p. 194. Todas las traducciones, de diversos autores, encontradas en el cuerpo del texto son mías.

9 GALILEO, *Dialogo sopra i due massimi sistemi*, Ed. Naz., Firenze, 1993, VII, 471.

10 Cfr. SELVAGGI, F., *Filosofía del mundo*, pp. 64-65.

minismo de la física clásica. Determinismo que se sigue de la estricta necesidad que impera en la naturaleza. Podemos definir este determinismo como una sucesión temporal de los fenómenos observados, de tal suerte que la causa siempre viene antes que el efecto y puesta la causa no puede no darse el efecto. Estos fenómenos son regidos por una regla constante de necesidad racional, fundamentada en una concepción mecánica de la materia. Más adelante, en la época de la química y la física atómica, se asociará al atomismo de Demócrito, de tal forma que les será casi imposible a los científicos escapar de las tenazas del determinismo causal físico. Parecía que los átomos, entendidos en el sentido griego, se comportaban de acuerdo con leyes estrictas e invariables de la naturaleza, y por ende, contribuían al enraizamiento del determinismo en la ciencia.

Así llegamos al sistema de la naturaleza de Isaac Newton. En sus *Principia* expone un conjunto de axiomas que, relacionados entre sí, constituyen un sistema cerrado que permite explicar las leyes de la naturaleza. Representando cada concepto y sus relaciones en el lenguaje matemático es sencillo asegurarse el conocimiento de los sistemas y fuerzas que actúan sobre él, y con ello predecir futuros acontecimientos. Todo lo futuro, todo aquello en lo que no interviniera el hombre con su libertad, sería de conocimiento cierto para los científicos, siempre y cuando pudiesen tener un logrado conocimiento de la totalidad del sistema en cuestión. Bajo esta premisa todo fenómeno que se iba descubriendo, comenzando por los de la mecánica de partículas, pasando por la hidrodinámica, la acústica, la astronomía, y hasta los fenómenos de electricidad y magnetismo, fueron siendo descritos en términos de la mecánica newtoniana, la cual era capaz de explicarlos.

Por todos estos grandes logros y nuevos descubrimientos, fue que Laplace llegó a decir “los eventos actuales poseen una conexión con los precedentes fundada en el principio evidente que una cosa no puede comenzar a ser sin una causa que la produzca (...) deberíamos entonces considerar el presente estado del universo como el efecto de su estado anterior, y como la causa del que le seguirá. Una inteligencia que en un instante dado pudiera conocer todas las fuerzas que animan la naturaleza, y los estados de todos los objetos que la componen, si fuese capaz de someter todos estos datos a análisis, podría abarcar dentro de una sola fórmula los movimientos de los cuerpos más grandes y de los átomos más pequeños: nada podría ser incierto, y el futuro como el pasado, sería presente a sus ojos”¹¹.

11 LAPLACE, P., *Théorie analytique des Probabilités*, Paris, 1820, Introducción, pp. II-III.

Encontramos muchos otros científicos que sostienen esta confianza casi ciega en el determinismo natural. Claude Bernard dice que “hay un determinismo absoluto en todas las ciencias (...) Es necesario admitir como un axioma experimental que entre los seres vivientes como dentro de los cuerpos inertes las condiciones de existencia de todo fenómeno son determinadas de una manera absoluta (...) La negación de tal proposición no es otra cosa que la negación de la ciencia misma”¹². Del mismo modo H. Poincaré afirma que “la ciencia es determinista; lo es a priori; postula el determinismo porque sin él no podría existir (...) La ciencia, con toda razón, es determinista: a todo lo que penetra hace entrar el determinismo”¹³. A esto agrega que “hemos devenido deterministas absolutos (...) Todo fenómeno, por más mínimo que sea, tiene una causa, y un espíritu infinitamente potente, infinitamente informado de las leyes de la naturaleza podría preverlos desde el comienzo de los siglos”¹⁴. Claramente aquí encontramos una absoluta y evidente referencia a las palabras de Laplace. Por último citemos a E. Globot, quien dice que “la ciencia no nos permite creer en la posibilidad de la contingencia. Sin determinismo, no hay ciencia. El determinismo no es otra cosa, verdaderamente, que un postulado, pero la existencia de la ciencia lo confirma (...) La fe en el determinismo es para el científico una suerte de deber profesional”¹⁵.

Esta convicción (postulado y hasta fe, como se ve en Globot) sostenía que, aunque nosotros no conociéramos toda la constelación causal presente, eso no quería decir que no hubiese, objetivamente hablando, en la misma realidad, un pleno y absoluto determinismo, que mantenía invariables las leyes de la naturaleza. Esto es lo que llamaremos un indeterminismo de tipo gnoseológico que supone un determinismo ontológico objetivo. Este “indeterminismo gnoseológico” es, evidentemente, en principio rompible, siempre que el observador se proponga tener una mayor exactitud en sus observaciones. Sin embargo, debido al advenimiento de la cinemática los científicos debieron resignar esta idea de romper tal “indeterminismo gnoseológico” y quedarse simplemente con leyes estadísticas, aunque sin renunciar por supuesto al “determinismo ontológico”, como se ve en las palabras de los científicos citados.

12 BERNARD, C., *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, Paris, 1920, p. 85.

13 POINCARÉ, H., *Dernières Pensées*, Ernest Flammarion, Paris, 1913, pp. 244-245.

14 POINCARÉ, H., *Science et méthode*, Ernest Flammarion, Paris, 1918, p. 65.

15 GLOBOT, E., *La finalité en biologie*, Revue philosophique, 1903 (56), p. 370.

2. POSTULADOS DETERMINISTAS DE LA FÍSICA CLÁSICA

A principios del siglo XIX, el determinismo estaba completamente inmerso en las conciencias de los científicos, y se había convertido en el principio fundamental, absoluto e indiscutible de toda ciencia empírica. *Sin determinismo, no hay ciencia*, como dijo Globot, era el slogan de los científicos de todas las disciplinas. Veamos, pues, los postulados fundamentales del determinismo de la física clásica:

- Postulado de la objetividad: La realidad física y los fenómenos del mundo material son independientes de la actividad del observador y de los medios de observación utilizados. La meta de la ciencia es lograr una adecuación perfecta entre la imagen subjetiva del observador y la realidad objetiva del mundo¹⁶.
- Postulado de racionalidad: Se concibe lo causal como racional, la causa es la razón del efecto, y por tal motivo puede ser conocida por la mente humana. Se identifica la concatenación de los fenómenos con la secuencia lógica entre antecedente y consecuente. Todo lo irracional o ilógico queda prohibido dentro del campo de la ciencia¹⁷. En virtud de este racionalismo queda completamente identificado el principio de causalidad con el más rígido determinismo¹⁸.
- Postulado de la matematicidad: Las relaciones causales son reducidas a expresiones matemáticas, puramente cuantitativas, con variables relacionadas entre sí, y con ello resulta casi irresistible aplicarle a aquéllas las propiedades de éstas, sobre todo la absoluta necesidad y rigurosa certeza¹⁹.
- Postulado del mecanicismo: Este postulado es al mismo tiempo raíz y consecuencia de todos los otros, ya que en él se asumen todos los otros. Pero no se lo puede identificar con los otros. En una física mecanicista,

16 Cfr. SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, pp. 208-209.

17 SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, pp. 210. Es interesante notar con Selvaggi que “il razionalismo della fisica classica elimina dalla natura la materia, principio alogico e indeterminato, inconoscibili per se stesso, per ritenere solo la forma o l’idea; ignora la causa *per accidens* e afferma che tutto ciò che è deve avere una ragione e una causa *per se*”. Esto tendrá gran importancia en la demostración de la tesis indeterminista, que proviene, justamente, de la materia como principio de indeterminación.

18 Cfr. HEISENBERG, W., *La imagen de la naturaleza en la física actual*, Orbis, Barcelona, 1985, pp. 30-31: “Así fue paulatinamente restringiéndose el alcance del principio de causalidad, hasta resultar equivalente a la suposición de que el acontecer de la Naturaleza está unívocamente determinado, de modo que el conocimiento preciso de la Naturaleza o de cierto sector suyo basta, al menos en principio, para predecir el futuro.”

19 Cfr. SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, pp. 212-213.

toda la realidad se sumerge en el cuadro del tiempo y el espacio, y es descrita por meros caracteres geométricos con absoluta precisión²⁰, sin tener en cuenta cualidades sensibles de la realidad objetiva, reduciendo toda la realidad material a la cantidad y al movimiento. Hay una homogeneidad en el mundo material, con diferencias que son únicamente accidentales y extrínsecas²¹.

Un buen ejemplo de este último postulado lo formula Lord Kelvin diciendo: “No estoy satisfecho hasta que no he podido construir un modelo mecánico del objeto que estudio. Si puedo construir un modelo mecánico, comprendo; hasta que no puedo construir semejante modelo, no comprendo realmente”²².

De este modo, objetividad, racionalidad, matematicidad y mecanicismo condujeron a la física clásica a un mayor y más rígido determinismo causal, mientras que la estructura misma del universo fue reducida a una representación geométrica, donde reinan la invariabilidad de las leyes, la constancia y la necesidad.

Es necesario admitir que la noción de una naturaleza determinista bien habíase ganado el aprecio, ya que, gracias a ella, toda la ciencia avanzaba, y parecía que lo seguiría haciendo indefinidamente, hasta alcanzar un sistema definitivo que lo explicara todo. Sin embargo, es preciso observar que, dentro de estos mismos firmes postulados, se encontraban escondidos los gérmenes de su destrucción: “En este maravilloso edificio de la física clásica existía el germen que la haría declinar. Estos gérmenes consistían en el exclusivismo y en el extremismo (...) Es la transformación de la mecánica en mecanicismo, de la consideración matemática en matematicismo, de la racionalidad en racionalismo, de la ciencia en científicismo (...) La variedad cualitativa de la contingencia intrínseca del modo de nuestra experiencia, las situaciones de hecho y las causas *per accidens*, irreducibles a condiciones iniciales y a causas *per se*, deberían haber puesto un límite a la racionalización absoluta, a la eliminación del azar, a la premisa de tener que determinar siempre y sin excepción”²³. Sin embargo, aunque muchas veces se levantaron dentro de la filosofía y aunque casi inesperadamente fueron llegando problemas teóricos que importunaron a los hombres de ciencia, dejándolos sin respuesta a sus

20 Cfr. SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, pp. 213-214.

21 Cfr. SELVAGGI, F., *Filosofía del mundo*, pp. 62-63.

22 Citado por SELVAGGI, F., *Filosofía de las ciencias*, p. 257.

23 SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, pp. 218-219.

interrogantes, la ciencia siguió su camino determinista hacia logros cada vez mayores.

CAPÍTULO II

EL INDETERMINISMO EN LA FÍSICA CUÁNTICA

1. LA CAÍDA DEL DETERMINISMO CLÁSICO

Las primeras reacciones filosóficas que se levantaron en contra del determinismo de la física clásica provienen de los espiritualistas franceses, quienes querían defender la indeterminación de la libertad humana, que caía también bajo la necesidad fatalística del determinismo mecanicista. Los dejaremos de lado, pues van más allá de nuestro objeto de estudio¹.

Otra reacción que proviene del ámbito filosófico, plantea un problema epistemológico y metodológico en la ciencia². El proceso de la investigación científica consta, básicamente, de tres partes: 1) la observación de los fenómenos, 2) el proceso inductivo, 3) la formulación de las leyes. Desde el mismo comienzo del proceso se han encontrado problemas, ya que toda observación es parcial, imperfecta y aproximada. Además, no existen dos fenómenos exactamente idénticos, de donde comienzan a fallar los presupuestos deterministas. También en el proceso inductivo se encuentran dificultades: la experiencia podrá estar segura de esta determinada experiencia, mas no podrá pasar de una o varias observaciones particulares a una generalidad, a una certeza de necesidad absoluta. Para hacer este pasaje deben sostener previamente el postulado del determinismo, que es lo que están tratando de demostrar, por lo que caen en una *petitio principii*. Y con esto falta un fundamento objetivo para formular las leyes, por lo tanto tampoco son válidas³.

Sin embargo, la real y verdadera caída del determinismo clásico no se produjo por argumentos filosóficos de ningún tipo, sino que provino del mismo

1 El lector puede referirse, por ejemplo, a las obras de BOUTROUX, E., *De l'idée de loi naturelle dans la science et la philosophie*, Paris, 1895, quien se convertiría en el abanderado del antedeterminismo francés de comienzos del siglo XX. También se pueden ver las obras de Henri Bergson, *Matière et mémoire* (1986); *L'évolution créatrice* (1907), o *La pensée et le mouvement* (1933). Ver SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, pp. 225ss y *Filosofia del mondo*, pp. 421-422.

2 Cfr. POINCARÉ, H., *La science et l'hypothèse*, Ernest Flammarion, Paris, 1935, Parte IV "La Nature", cap. IX, "Les hypothèses en physique", pp. 167-188.

3 Cfr. SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, pp. 228-229.

seno de la ciencia clásica. Tuvo su origen cuando la ciencia comenzó a considerar soluciones de tipo estadístico y probabilístico para algunos problemas.

Ya Daniele Bernoulli, fundador de la hidrodinámica, notaba en 1738 la gran utilidad que los cálculos estadísticos tenían en las consideraciones de la mecánica del calor⁴, y se convertía en un precursor de la teoría cinética de los gases de Gauss, quien a fines del siglo XVIII, desarrollaba la primera aplicación concreta y matemática de los métodos estadísticos y probabilísticos⁵.

Sin embargo, estos físicos, a los que les podemos sumar otros grandes tales como Laplace⁶ y Lagrange⁷, consideraban estos métodos como útiles herramientas que servían para describir de una manera más cómoda el comportamiento determinista de muchas e innumerables partículas.

Más adelante tuvo lugar la disputa entre las leyes de la termodinámica y la teoría cinética de la materia. La primera sostenía el cálculo de probabilidades no como un método aproximativo para llegar a ciertas características del movimiento por una imposibilidad práctica para medir las posiciones y velocidades de las partículas de los gases, sino como una exigencia teórica y de principio. Evidentemente la segunda sostenía lo contrario.

Se resolvió el problema proponiendo que a la determinación del estado macroscópico del sistema, descrito con simples variables, tales como el volumen, la presión y la temperatura, le correspondía una infinita variedad de estados microscópicos posibles o probables, determinados por las leyes estadísticas de la termodinámica. Será ésta la primera vez que una ley estadística tome el rango de ley natural.

Igualmente, la indeterminación que proviene de las condiciones iniciales de un sistema microscópico es una indeterminación epistemológica, en cuanto que no se puede por medios de observación macroscópicos determinar tales condiciones iniciales. Por lo tanto, sigue siendo en sí mismo un sistema plenamente determinado⁸.

4 BERNOULLI, D., *Hydrodynamica*, 1738.

5 GAUSS, C., *Disquisitiones Arithmeticae*, 1801.

6 LAPLACE, *Théorie analytique des Probabilités*.

7 LAGRANGE, J., *Mélanges de Turin*, v. 1, 1759.

8 Fue opinión de Max Planck, descubridor de los cuantos de acción, que todo el propósito de la ciencia era llevar todas las leyes estadísticas o probabilísticas que fuesen surgiendo a leyes de tipo dinámico, en las que no entre ningún tipo de probabilidad o indeterminación. "En física el cálculo exacto de la probabilidad es posible solamente si por la acción más elemental, en el más pequeño microcosmos, se reconoce como válidas leyes exclusivamente dinámicas". PLANCK, M., *Dynamischen und statistischen Gesetzmässigkeit*, 1914.

Esta fidelidad al determinismo clásico permaneció en la mente de los científicos hasta el descubrimiento en 1900 de los cuantos de acción, llevado a cabo por Max Planck, cuando investigaba los problemas de la irradiación de calor que emite el ‘cuerpo negro’ a cualquier temperatura. Después de que muchos (Wien, Rayleigh, Jeans, etc.) hubieran encontrado explicaciones parciales, Planck halló una fórmula general para todos los casos, cualesquiera fuesen las longitudes de onda de las radiaciones y las temperaturas⁹. Para deducir esta nueva fórmula, Planck tuvo que admitir una nueva hipótesis que se salía de la física clásica: la hipótesis de los cuantos. Propuso que había un elemento de discontinuidad en la irradiación de calor, que el cuerpo podría emitir o absorber la energía como un oscilador o un resonador respectivamente¹⁰. Ésta no es emitida por el átomo en manera continua, sino discontinuamente, como de a golpes. Planck llamó a estos golpes con el nombre de *cuanto elemental de acción* y consideró la energía emitida como constituida por gránulos mínimos indivisibles, llamados *cuantos de energía*. Esta concepción discontinua de la radiación lleva a admitir la hipótesis de que la emisión es un fenómeno estadístico¹¹. Los testimonios del mismo Planck y de Werner Heisenberg nos darán una imagen de la importancia del descubrimiento de los cuantos de acción: “Intenté inmediatamente colocar el cuanto elemental de acción h de alguna manera dentro del esquema de la teoría clásica. Mas en cada uno de estos intentos, esta constante demostró ser irreducible (...) El fracaso de cada uno de los intentos para superar este obstáculo hizo prontamente evidente que el cuanto elemental de acción jugaba un papel fundamental en la física atómica, y que su introducción abriría una nueva era dentro de la ciencia”¹². El otro testimonio nos lo trae Heisenberg: “Cuenta el hijo de Planck que en un largo paseo por el Grunewald, parque de las afueras de Berlín, su padre le habló de sus nuevas ideas. Durante el paseo le explicó que pensaba haber hecho un descubrimiento de gran importancia, comparable quizás con los descubrimientos de Newton”¹³.

El Premio Nobel Louis de Broglie también reconoce la importancia de este descubrimiento: “Seguramente que nosotros no llegamos a darnos idea exacta

9 PLANCK, M., *Über die Verbesserung der Wien'schen Spektralgleichung*, Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft 1900 (2), pp. 202-204; y *Zur Theorie des Gesetzes der Energieverteilung im Normalspektrum*, Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft 1900 (2), pp. 237-45.

10 Cfr. RIAZA MORALES, J. M., *Ciencia moderna y filosofía*, BAC, Madrid, 1969, pp. 250-252.

11 Cfr. HEISENBERG, W., *La imagen de la naturaleza en la física actual*, pp. 34-35.

12 PLANCK, M., *Autobiografía científica*, citado por Selvaggi, *Causalità e indeterminismo*, pp. 254-255.

13 HEISENBERG, W., *Física y Filosofía*, La Isla, Buenos Aires, 1959, p. 18.

de este misterioso cuanto, tan alejado de nuestra intuición, mas estamos seguros de que su importancia en la Naturaleza es capital. (...) Su aparición en la Ciencia ha producido en ella una revolución conceptual cuya importancia no medimos aún con exactitud, pero que, sobrepasando con mucho la realizada por la teoría de la Relatividad, constituye uno de los cambios más importantes en la historia del pensamiento humano”¹⁴. En un primer momento se encontraron pocas aplicaciones al nuevo descubrimiento, y su importancia fue admitiéndose poco a poco. Einstein, en 1905¹⁵, lo utilizó para interpretar el efecto fotoeléctrico, proponiendo los cuantos de luz, como paquetes granulares de luz, extendiendo así la cuantización a todos los procesos de radiación. Otra utilización del cuanto de acción fue la de Niels Bohr al explicar la estructura interna del átomo planetario de Rutherford¹⁶.

Lentamente, este nuevo concepto de la física moderna fue comenzando a ser aceptado. Sin embargo, quedaban demasiadas cosas sin explicar. Y se generaban muchas contradicciones, que en un principio fueron dejadas de lado, mas con el pasar del tiempo se fueron agudizando y requirieron un planteamiento más serio. Dos de los problemas más serios eran 1) el de la dualidad onda-corpúsculo primariamente aplicada a la luz, introducida por Einstein al explicar el efecto fotoeléctrico —y más tarde a todo el espectro de partículas subatómicas— y 2) el de las órbitas de los electrones dentro del átomo y su trayectoria en una cámara de niebla, y así tantos otros. El que más va a llamar la atención de los físicos de la época fue el de las órbitas de los electrones. A causa de este problema Heisenberg propondrá, en 1927, su interpretación de la mecánica cuántica, interpretación que deja de lado el concepto de órbitas electrónicas, para introducir las relaciones de incertidumbre en el seno de la física moderna.

14 BROGLIE, L. DE, *Sabios y descubrimientos*, citado por RIAZA MORALES, J. M., *Ciencia moderna y filosofía*, p. 253.

15. EINSTEIN, A., , *Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt*, *Annalen der Physik* 1905 (17), pp. 132-148.

16 BOHR, N., , *On the constitution of atoms and molecules*, *Philosophical Magazine* 1913 (26), pp. 1-25, 476-502, 857-875.

2. EXPERIMENTOS CLAVE PARA LA NUEVA FÍSICA

Repasaré brevemente la descripción de dos de los más característicos experimentos para la nueva física. El primero será la cámara de niebla. Seguidamente veremos el de la doble ranura¹⁷.

Una cámara de niebla es un instrumento que hace visible la trayectoria de rayos cósmicos de alta energía del espacio exterior. La cámara de niebla es capaz de producir rastros visibles de cualquier partícula ionizada que pase a través del área sensible de la cámara. Las partículas ionizadas de alta energía provienen de dos fuentes principales: los rayos cósmicos y la desintegración producida de las sustancias radioactivas. Estas partículas que se mueven rápidamente producen unos rastros visibles blancos o ‘nubes’ en la cámara. Las partículas neutras, ya sean los rayos gama, rayos x o neutrones, por ejemplo, no producen rastros directamente. Si una partícula neutra transfiere energía a una partícula cargada, como un electrón o un protón, podemos ver el rastro, o ‘nube’, de la segunda partícula.

La cámara de niebla muestra sobre todo rayos cósmicos, ya que hay poca radioactividad dentro de la cámara. Si alguna fuente radioactiva es puesta en la cámara de niebla producirá muchos rastros de niebla, producidos por partículas cargadas provenientes de la desintegración radioactiva.

La cámara de niebla esta compuesta por un ‘piso’ refrigerado, una capa de vapor de alcohol supersaturado, otra capa superior de vapor de alcohol y una cubierta de vidrio a una temperatura sobre toda esta estructura. El alcohol se evapora de la superficie caliente superior de la cámara de niebla. El vapor de alcohol se difumina sobre la superficie fría inferior. La distribución estable de la temperatura desde la superficie superior hasta la inferior incluye una capa de vapor de alcohol supersaturado cerca de la superficie inferior de la cámara. Cuando una partícula cargada pasa a alta velocidad a través de esta capa los pares de iones producidos actúan como puntos de condensación del vapor de alcohol y hacen pequeñas gotas de alcohol o niebla. Esto produce una ‘nube’ realmente visible. Las gotitas son producidas solo en la capa supersaturada. El efecto es similar al que producen algunos aviones que vuelan a grades altitudes marcando el cielo con rastros de niebla. En un minuto muchos rayos cósmicos o rayos alfa emitidos de núcleos de radón en el aire, hacen visibles muchos rastros en la cámara de niebla.

¹⁷ Cualquiera de estos puede ser encontrado en cualquier libro de texto introductorio a la física cuántica. Ver, por ejemplo, PENROSE, R., *The Road to Reality. A Complete Guide to the Laws of the Universe*, Jonathan Cape, London, 2004.

El experimento de las dos ranuras es muy simple y contiene todo lo que se hay que saber sobre mecánica cuántica. Consiste en una fuente de partículas (usualmente electrones), una pantalla detector y una barrera entre la fuente de partículas y la pantalla con dos ranuras paralelas. Suponiendo que se emite una partícula a la vez desde la fuente, si se empieza con una sola ranura abierta se obtiene un patrón azaroso de puntos en la pantalla colocada detrás de la barrera con la ranura. La intensidad del patrón (la mayor intensidad de puntos en la pantalla detector) será más alta en una línea central cercana al plano que conecta la fuente de partículas con la ranura, como es de esperarse, y disminuirá uniformemente a ambos lados de esta línea central. Este patrón se repite si se abre la otra ranura cerrando la primera. Hasta este momento nada extraordinario sucede. El resultado obtenido en la pantalla es lo que se esperaría si se arrojasen azarosamente partículas hacia una pantalla a través de una ranura.

Ahora bien, si el experimento se recrea con las dos ranuras abiertas, en vez de encontrar un segundo patrón al lado del primero (como habría de esperarse), algo completamente distinto sucede. Aun se observarán puntos llegando a la pantalla, uno a la vez, como si fueran partículas viajando en el aire, hacia la pantalla. Sin embargo, en este caso, formarán un patrón de varias líneas paralelas, extendiéndose a regiones de la pantalla que deberían estar vacías.

Este patrón es en realidad muy bien conocido y estudiado: es un patrón de interferencia producido por la interferencia de ondas. Los puntos aparecen en la pantalla uno a la vez en distintos lugares (localizados). Y cada vez que una partícula llega a la pantalla puede ser identificada con una emisión individual de una partícula desde la fuente. Sin embargo, el comportamiento de la partícula entre la fuente y la pantalla, incluyendo su encuentro con las dos ranuras en la barrera, es el de una onda.

Para poder dar una explicación plausible de este inesperado resultado, la teoría cuántica afirma que la partícula, al pasar a través de la barrera con las dos ranuras, interfiere consigo misma (porque se ha asumido que las partículas se emiten una a la vez), produciendo el patrón de interferencia. La conclusión contra-intuitiva es que, para interferir consigo misma, la partícula debe pasar por las dos ranuras a la misma vez, en lo que se conoce como superposición de estados.

Hay, sin embargo, un resultado aun más sorprendente de este experimento, al introducir un aparato de medición antes de la barrera para observar a través de cuál ranura pasa la partícula. Lo que resulta en la pantalla es un patrón de

dos líneas, cada una siendo más intensa en el centro, disminuyendo hacia ambos lados. Es decir, ya no se observa un patrón de interferencia, si no que se observa lo que se esperaba en un principio al abrir las dos ranuras. El patrón observado en la pantalla depende de si el comportamiento de la partícula a través de la barrera es observado o no.

El estado cuántico del sistema (cada partícula emitida) debe ser considerado como la suma de todos los estados posibles que el sistema puede ocupar. Esto es a lo que se refiere el principio de superposición del sistema. Este principio no se aplica en la mecánica clásica, ya que en mecánica clásica es absurdo decir que un electrón tiene, por ejemplo, dos orientaciones distintas de su momento magnético al mismo tiempo o dos posiciones al mismo tiempo. Antes de la medición de un sistema cuántico, sin embargo, no se puede especificar el estado del sistema. Después de la medición, por otro lado, se obtiene un resultado único del estado del sistema.

Poniendo más en detalle los conceptos de la mecánica cuántica, la evolución temporal del sistema (por ejemplo la trayectoria del electrón), es descrita por la ecuación de Schrödinger¹⁸. Esta descripción es la que provee el marco de la que la mayoría de las discusiones en física cuántica.

La ecuación de Schrödinger, que incluye la función de onda que provee la descripción del estado del sistema, es fundamental para entender cómo evoluciona tal sistema en el tiempo¹⁹, permitiendo usar el presente del sistema para asignar probabilidades a futuros experimentos²⁰. Su forma canónica es la siguiente: $\hat{H}(t) |\psi(t)\rangle = i\hbar d/dt |\psi(t)\rangle$ donde $|\psi(t)\rangle$ representa el estado del sistema como un vector en función del tiempo, \hbar es la constante de Planck ($\hbar = 6,55 \times 10^{-27}$ erg. sec.) y $\hat{H}(t)$ es el operador Hamiltoniano²¹. La función de onda será la suma de los posibles estados del sistema, que son llamados *eigenstates*²².

Hay ciertas consecuencias que se siguen inmediatamente de la forma general de la ecuación de Schrödinger. Una de las más importantes es que, a

18 SCHRÖDINGER, E., *An Undulatory Theory of the Mechanics of Atoms and Molecules*, Physical Review 1926 (28:6), pp. 1049-1070.

19 PENROSE, R., *The Road to Reality*, p. 498.

20 HUGHES, R. I. G., *The Structure and Interpretation of Quantum Mechanics*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts and London, 1989, p. 113.

21 El operador Hamiltoniano del sistema determina la evolución en el tiempo del estado del sistema. Para una audiencia no especialista sólo debe preocuparnos que este operador representa la energía total del sistema.

22 Para un recuento preciso de cómo sucede esto ver PENROSE, R., *The Road to Reality*, pp. 517-520.

pesar de ser de carácter probabilístico, es una ecuación determinista, en el sentido en que la evolución del sistema en el tiempo está completamente fijada una vez que se conoce el sistema en algún momento de tal evolución²³.

La falta de determinismo (o predictabilidad) no se encuentra en la evolución temporal del estado cuántico, tal como lo describe la ecuación de Schrödinger. Esta falta de determinismo aparece sólo en la aplicación del proceso de medición²⁴. En mecánica cuántica, aun en mediciones ideales y especificaciones precisas del estado del sistema, no se pueden obtener valores extremos de probabilidad (1 o 0). En cambio, los valores de probabilidad caen dentro del intervalo $[0, 1]$.

Cualquier medición correspondiente a una cualidad ‘medible’ del sistema cuántico —una cualidad ‘observable’— resultará en que el sistema ‘saltará’ a un *eigenstate*. ¿A qué *eigenstate* saltará? De acuerdo a la interpretación ortodoxa de la mecánica cuántica, es un proceso puramente azaroso, aunque esto será discutido en la próxima sección. Sin embargo, como se ha mencionado, hay reglas precisas para calcular las probabilidades. El salto del estado cuántico a uno de los *eigenstates* es el proceso llamado ‘reducción o colapso de la función de onda’. Por lo tanto, de acuerdo a la teoría cuántica hay dos maneras en que el sistema cambia: la evolución temporal según la ecuación de Schrödinger y el colapso de la función de onda a un *eigenstate*²⁵.

La mayor dificultad con la que se confrontan los físicos cuánticos es el conflicto entre estos dos procesos. El primero es una clara evolución temporal y no causó demasiadas dificultades. Sin embargo, el segundo era algo totalmente novedoso, ya que la mecánica clásica tiene como fundamento que todos los estados del sistema pueden ser siempre medidos y conocidos con precisión, algo que no puede ser logrado de acuerdo a las leyes cuánticas. La mayor precisión que se logrará es la expresada por el principio de incertidumbre de Heisenberg, que será estudiado oportunamente.

3. DIFERENTES INTERPRETACIONES DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

Después de haber considerado mínimamente las bases para entender los lineamientos básicos de la mecánica cuántica, es apropiado presentar algunas

23 PENROSE, R., *The Road to Reality*, p. 530. Cfr. HELRICH, C., *Measurement and Indeterminacy in the Quantum Mechanics of Dirac*, *Zygon* 2000 (35, 3), pp. 489-503, p. 497, y HUGHES, R. I. G., *The Structure and Interpretation of Quantum Mechanics*, p. 78.

24 PENROSE, R., *The Road to Reality*, p. 530.

25 MAUDLIN, T., *Quantum Non-Locality and Relativity*, Blackwell, Oxford, 2002, p. 265.

interpretaciones filosóficas de la misma. Estas interpretaciones intentarán explicar qué es lo que sucede debajo del marco teórico matemático que presenta la física cuántica, para representar una imagen del mundo cuántico real.

Es sabido que durante el siglo pasado la mecánica cuántica ha sido objeto de intensos debates, y numerosas interpretaciones han sido propuestas. Sólo unas pocas, las más importantes epistemológica y ontológicamente, serán enumeradas.

1) La interpretación de Copenhagen (también conocida como la interpretación ortodoxa), formulada en casi su totalidad por Bohr²⁶ y Heisenberg²⁷, emplea tres principios diferentes: 1) el estado físico del sistema es capturado en su totalidad por la función de onda. 2) La función de onda evoluciona casi siempre de acuerdo con la ecuación de Schrödinger, pero no siempre: a veces colapsa. 3) La dinámica completa es más bien probabilística: sistemas aislados que comienzan en estados idénticos pueden resultar en diferentes estados. Esta característica probabilista aparece en el colapso de la función de onda.

De este modo, la interpretación ortodoxa afirma que la probabilidad predicha por la mecánica cuántica es irreducible en el sentido de que no refleja exclusivamente nuestro conocimiento limitado del sistema. Esta interpretación sostiene que el resultado de una medición es fundamentalmente indeterminista. La imposibilidad de predicción el resultado de una medición refleja un indeterminismo causal fundamentalmente ontológico al nivel cuántico. Esto se ve cuando el sistema salta azarosamente a una de las probabilidades (o *eigenstates*) del sistema dadas por la función de onda.

2) La interpretación de Bohm, a veces llamada la interpretación de Broglie-Bohm, postula una ontología muy clara. Las partículas de Bohm son partículas similares a las de la mecánica clásica: siempre tienen una posición y trayectoria definidas, asociadas a una onda sin la cual la partícula nunca es encontrada. Esta onda es una oscilación en un nuevo campo, que es representado matemáticamente por el $|\psi\rangle$ de la ecuación de Schrödinger²⁸.

En esta interpretación, la función de onda ‘guía’ el movimiento de la partícula, y evoluciona determinísticamente de acuerdo a la ecuación de Schrödinger. Así, hay dos niveles de realidad, uno que es más firme que el otro. La partícula es el más firme, mientras que la onda es de un segundo

26 Ver, por ejemplo, BOHR, N., *Atomic Theory and the Description of Nature*, OxBow Press, Woodbridge, 1987.

27 Ver HEISENBERG, W., *Física y Filosofía*.

28 BOHM, D., *Causality and Chance in Modern Physics*, Routledge & Kegan Paul, London, 1984, p. 112.

nivel, aunque sigue siendo real. Este nivel más débil de realidad ejerce una suerte de fuerza sobre la partícula, y la partícula ejerce una influencia recíproca sobre el campo $|\psi\rangle$, que es lo suficientemente pequeña para no ser tomada en cuenta²⁹. La fuerza que el campo ejerce sobre la partícula es tal que produce una tendencia que traslada la partícula de una posición a otra.

3) La interpretación de las variables ocultas, mantenida sobre todo por Einstein³⁰, afirma que la física cuántica es correcta hasta donde se la entiende, pero que es incompleta: hay factores causales que la física cuántica no incluye, y estos factores son los responsables por su indeterminismo. Esta interpretación postula que junto o debajo de las cantidades mensurables que mide la teoría (posición, momento, spin, etc.) hay más cantidades inaccesibles a las mediciones, y que sus valores determinan los valores de los resultados obtenidos por medición de las cantidades mensurables. En este sentido, estos factores ocultos hacen que el sistema se comporte de manera determinística, aunque con apariencia indeterminista, por su naturaleza oculta.

4) La interpretación de los múltiples mundos o múltiples universos, formulada por Everett en 1955³¹ para ofrecer ‘una reformulación de la teoría cuántica en una forma adecuada para la aplicación en relatividad general’³², sostiene que resuelve todas las paradojas de la teoría cuántica al aceptar todo resultado posible como real en su propia ‘historia’ o ‘mundo’. De acuerdo a esta interpretación, el sistema (junto con el observador) es ‘clonado’, sin tener acceso a sus clones. Así, sólo uno de los *eigenstates* será presente a un clon, mientras que los otros se presentan a otros clones en otros mundos.

Esta interpretación simplemente niega que la función de onda colapse en cualquier modo, y que cuando se hace una medición, todos los posibles resultados coexisten en una gran superposición lineal de universos alternativos. Dado que los sistemas cuánticos están siempre interactuando entre sí, cada mundo estaría dividiéndose continuamente en diferentes ramas, siendo cada una de esas ramas un mundo completamente realizado, que a su vez se dividirá en nuevas ramas.

29 BOHM, D., *Causality and Chance*, p. 112.

30 EINSTEIN, A.; PODOLSKY, B. and ROSEN, N., *Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete?* Physical Review 1935 (47:777).

31 EVERETT, H., ‘The Theory of the Universal Wavefunction’ in Bryce DeWitt and R. Neil Graham (eds.), *The Many Worlds Interpretation of Quantum Mechanics*, Princeton University Press, 1973.

32 EVERETT, H. citado en HUGHES, R. I. G., *The Structure and Interpretation of Quantum Mechanics*, p. 290.

Ante este amplio panorama de interpretaciones es preciso formular algún criterio que nos ayude a decidir por una o la otra interpretación. William Stoeger, astrofísico del Observatorio Vaticano y la Universidad de Arizona, ha ofrecido recientemente un criterio epistemológico que resulta razonable: 1) hemos de dejar hablar al mundo cuántico en vez de apropiarle características que no parece tener, y 2) hemos de admitir que la teoría cuántica dice algo acerca de la realidad como es³³. Es preciso admitir el primer punto para evitar dotar a la realidad con características que puede no tener en el nivel con el que trabaja la física cuántica. De este modo estaremos siguiendo los hechos que acontecen en el nivel cuántico sin apropiarnos de ellos. Stoeger justifica su segundo punto al evidenciar que es una convicción que está constantemente puesta en juego cada vez que un científico interactúa con un sistema físico cuántico: la realidad cuántica, explicitada por la teoría, manifiesta tantas o más restricciones que la realidad clásica al interactuar con otros sistemas, y el científico no puede imponer lo que él quiera acerca de tal sistema cuántico. De esta manera, parece adecuado aceptar el criterio epistemológico propuesto por Stoeger.

Ahora bien, tomando este criterio la interpretación de Copenhague es la más satisfactoria³⁴, ya que es la que toma más en serio el carácter objetivo del indeterminismo manifiesto en la teoría, dejando que la realidad se exprese por sí misma sin querer imponer una idea humana acerca de la realidad, y acepta la descripción que la teoría da de esa realidad. Es momento, entonces, de volver nuestra mirada hacia Heisenberg y su pensamiento acerca de la mecánica cuántica.

4. EL PENSAMIENTO DE WERNER HEISENBERG Y LA FÍSICA CUÁNTICA

En 1926 Heisenberg tuvo su primer encuentro con Albert Einstein, después de haber expuesto su mecánica de matrices en Solvay. Heisenberg había llegado a ella utilizando el método que el mismo Einstein había esgrimido para proponer su teoría de la relatividad, a saber, dejar de lado todo concepto no observable experimentalmente. Después de que Planck introdujo los cuantos de acción, muchos conceptos nuevos fueron filtrándose dentro del

33 STOEGER, W., SJ, 'Epistemological and Ontological Issues Arising from Quantum Theory', en Russell, Clayton, Wegter-McNelly and Polkinghorne (eds.), *Quantum Mechanics. Scientific Perspectives on Divine Action*, Vatican Observatory - CTNS, Vatican City - Berkeley, 2001, pp. 81-98, pp. 84-5.

34 STOEGER, W., 'Epistemological and Ontological Issues', p. 92-3.

aparato conceptual de la nueva física que estaba naciendo, entre ellos el de órbita del electrón, los saltos de una órbita a otra de los electrones, la duración de las revoluciones de los átomos, etc., no comprobadas por ningún fenómeno experimental.

Einstein comenzó aquel encuentro poniendo en duda la propuesta de Heisenberg de suprimir por completo las órbitas electrónicas, aun admitiendo la existencia de los electrones dentro del átomo, a lo que Heisenberg respondió, apelando a las mismas opciones metodológicas de su interlocutor, que tales órbitas no eran observables, y que sólo cabía introducir en las teorías científicas conceptos observables experimentalmente. En la construcción de las teorías científicas era necesario prescindir de los no-observables.

Esto es exactamente lo que tantas veces durante todos sus escritos Heisenberg procuró explicar. Es propio del hombre el intentar entender algo partiendo de conocimientos previos, y nombrar los acontecimientos nuevos haciendo referencia a los anteriores. En el caso de la física cuántica no es posible utilizar el lenguaje ordinario para referirnos a los fenómenos que ocurren en ese ámbito, pues al hacerlo se introduce una ambigüedad imposible de salvar. Por lo tanto, Heisenberg ha dejado de lado todo lo no observable para evitar dicha ambigüedad del lenguaje, y tener una teoría más ajustada a lo que los fenómenos le presentaban. En palabras del mismo Heisenberg “cuando por extrapolación del mundo de la experiencia cotidiana queremos concluir una proposición universal, corremos el gran peligro de pronunciar proposiciones vacías de contenido y de constituir ideas vacías”³⁵. En otros pasajes también nos dice que “se habla de órbitas electrónicas, de ondas de materia y densidad de carga, de energía y de cantidad de movimiento, etc., teniendo siempre conciencia de que estos conceptos sólo poseen un radio de aplicabilidad muy limitado”³⁶. Así, es más conveniente limitarse a elaborar la teoría atómica con magnitudes realmente medibles tales como la energía, el impulso, pero no el lugar y la velocidad de los electrones.

La norma para evitar el peligro de ambigüedad y de pronunciar proposiciones vacías y sin sentido es la distinción entre los observables y los no-observables, añadiéndole el método de las definiciones operativas. Este método sigue la simple regla de que todo concepto científico debe ser observable, es decir, capaz de ser revelado por observaciones experimentales o por experimentos mentales conceptualmente posibles, o sea que no sean opuestos a ninguna ley física o lógica. Todo concepto observable debe poder ser defi-

35 HEISENBERG, W., *Kausalgesetz und Quantenmechanik*, Erkenntnis 1931 (2), p. 173.

36 HEISENBERG, W., *Física y filosofía*, p. 152.

nido operativamente, esto es, concretar alguna operación física o serie de operaciones por la que podríamos captarlo³⁷. Las magnitudes atómicas directamente observables son la frecuencia y la intensidad de las rayas espectrales, como también los niveles de energía del átomo. Luego veremos que ni los datos relativos a la posición del electrón en función del tiempo, ni las órbitas electrónicas (su diámetro, excentricidad, curvatura) muestran conexión cierta con lo medido directamente en la experimentación, por lo que no pueden ser llamados conceptos observables, y por lo tanto deben ser dejados de lado en la explicación de los fenómenos³⁸.

Volviendo a la primera conversación entre Heisenberg y Einstein, éste argumentó que, aunque Heisenberg quisiera eliminar tales conceptos, era claro que las trayectorias de los electrones podían ser observadas de forma inmediata en una cámara de niebla. A lo que Heisenberg respondió con el problema que prontamente resolverá con las relaciones de incertidumbre: “Nada sabemos del lenguaje con que podemos hablar sobre lo que sucede en el átomo. Tenemos, eso sí, un lenguaje matemático, es decir, un esquema matemático, con ayuda del cual podemos calcular las situaciones estacionarias del átomo o las probabilidades de transición de una a otra situación. Pero todavía no sabemos cómo concuerda este lenguaje con el lenguaje ordinario. Naturalmente, necesitamos esta concordancia para poder aplicar la teoría a los experimentos. Porque sobre los experimentos hablamos siempre con el lenguaje corriente, es decir, con el lenguaje tradicional de la física clásica. Por consiguiente, no puedo afirmar que hayamos entendido la mecánica cuántica”³⁹.

37 Es importante notar que estas definiciones operativas pueden bien ser consideradas como definiciones esenciales, sobre todo en los entes físicos, aunque no sólo en ellos: “Il concetto operativo in quanto tale non si oppone al concetto essenziale, anzi anche nella filosofia antica molte essenze vengono definite mediante operazioni, fische se si tratta di enti materiali, non fische se si tratta di enti immateriali o di essenze che, pur verificandosi anche in enti materiali, trascendono però i limiti della materia. Ricordiamo alcuni degli esempj piú comuni: il corpo, secondo S. Tommaso, si definisce "ex eo quod habet talem naturam ut in eo possint designari tres dimensiones"; il vivente si definisce per la possibilità di operazioni immanenti, comme la possibilità della operazione del ragionare é la differenza specifica dell'essenza dell'uomo. La definizione operativa é quindi una definizione essenziale giacché per mezzo dell'operazione propria di una sostanza (o meglio per mezzo della possibilità di tale operazione) si definisce l'essenza stessa della sostanza.” SELVAGGI, F., *Scienza e metodologia*, cap. Discussione sulla natura della scienza, p. 246.

38 Cfr. RIAZA MORALES, J. M., *Azar, ley, milagro*, pp. 180-181.

39 HEISENBERG, W., *Diálogos sobre la física atómica*, p. 84. Es oportuno agregar que, aun hoy, a un siglo de la fundación de la mecánica cuántica y a más de 80 años de esta conversación, todavía no se ha hallado o acordado una interpretación definitiva de la mecánica cuántica, siendo ésta es una de las principales cuestiones filosóficas referidas a esta teoría.

Es decir, a partir del método adoptado, el de los observables y definiciones operativas, Heisenberg había construido (utilizando el álgebra de matrices, pues con los métodos ordinarios del álgebra no podían reunir en relaciones matemáticas conceptos observables tales como la frecuencia emitida, la intensidad de la energía, los términos espectrales, etc.) un lenguaje absolutamente matemático con el cual podía referirse a las observaciones sin ningún temor a caer en ambigüedades o sinsentidos. Sin embargo, todavía no podía interpretarlo de manera acabada, pues había fenómenos que no podían ser explicados dentro del mismo.

Ni la mecánica de matrices de Heisenberg, ni la mecánica ondulatoria de Schrödinger podían explicar lo que se observaba en la cámara de niebla. La primera porque había eliminado por completo el concepto de trayectoria, y la segunda porque las dimensiones con las que se manejaban los rayos que podían representar las trayectorias eran de magnitudes muy superiores a las del electrón⁴⁰.

5. LAS RELACIONES DE INCERTIDUMBRE DE HEISENBERG

Es en este momento de sus investigaciones cuando Heisenberg tiene su importante descubrimiento. Einstein le había dicho que lo que realmente sucedía era que la teoría era lo que determinaba lo que era posible observar o no. Sólo la teoría determina sobre lo que puede observarse. La teoría no hablaba en ningún momento de trayectorias, por lo tanto, y teniendo confianza en que todo el aparato matemático era correcto⁴¹, no era la trayectoria del electrón lo que se observaba dentro de la cámara de niebla. Tal vez era menos lo que realmente se observa. Sólo se pueden percibir gotitas de agua aisladas en la cámara, las cuales son mucho más extensas que un electrón. Por lo tanto, más que la trayectoria del electrón, sólo se podía percibir una sucesión de estados del electrón, una sucesión discreta, discontinua, de lugares. El problema de la trayectoria del electrón en la cámara de niebla comenzaba a solucionarse, y era posible gracias a que se había formulado la pregunta que debía ser formulada desde la teoría, pues “hacer la pregunta adecuada es frecuentemente más de medio camino hacia la solución del problema”⁴².

40 Evidentemente, estamos dejando de lado todas las explicaciones de los fenómenos físicos. No nos parece oportuno introducirlas, pues no creemos que favorezca a la comprensión de los argumentos, ni es el objetivo de nuestro estudio.

41 Cfr. HEISENBERG, W., *Diálogos sobre la física atómica*, p. 84: “Tengo la sospecha de que el esquema matemático lo tenemos ya ordenado”.

42 HEISENBERG, W., *Física y filosofía*, p. 21.

De este modo, la pregunta ya no sería cómo formular con el aparato matemático de la mecánica cuántica, sea la de matrices o la ondulatoria, la trayectoria del electrón, sino más bien la siguiente: “¿Se puede representar, dentro de la mecánica cuántica, una situación en la cual aproximadamente —es decir, con una cierta imprecisión— se encuentre un electrón en un lugar dado, y también aproximadamente —es decir, de nuevo con una cierta imprecisión— posea una velocidad dada, y se pueden hacer estas imprecisiones tan pequeñas de forma que no se encuentren dificultades con el experimento?”⁴³.

El resultado de estas preguntas llevó a Heisenberg, tras un breve análisis matemático, a postular las relaciones de incertidumbre. Estas relaciones, descubiertas en febrero de 1927⁴⁴, son la íntima razón por la que se ponía de manifiesto la imposibilidad de fundar una teoría atómica sobre un modelo mecánico. Dichas relaciones dicen que es imposible conceptualmente determinar simultáneamente la posición y el momento de la cantidad de movimiento (el producto de la masa y la velocidad) de una partícula, o de cualquier otro par de variables conjugadas. El producto de las indeterminaciones de las variables conjugadas no puede ser menor que el cuanto de acción de Planck. Expresado matemáticamente:

$$\Delta q \times \Delta p \geq h$$

en la cual q y p son variables conjugadas y h es el valor del cuanto de acción de Planck. Esta fórmula se explica de la siguiente manera. Supongamos un cuerpo dado; si admitimos que el mismo sufre una variación en el impulso igual a Δq y otra en la posición correspondiente a Δp , la probabilidad de hallarlo en un instante correspondiente a p , $(p + \Delta p)$ y q , $(q + \Delta q)$ será evidentemente proporcional a la probabilidad de hallarlo dentro del área $(\Delta q \times \Delta p)$, elementos diferenciales éstos que pueden hacerse tan pequeños como se quiera. Esto en tanto hablemos de la mecánica clásica. Las cosas cambian totalmente en cuanto entramos a los dominios de la mecánica cuántica; aquí el producto $(\Delta q \times \Delta p)$ pierde todo significado cuando se hace menor que el cuanto de acción de Planck h . Llegamos, así, a que este producto no puede ser menor que la llamada constante de Planck $h = 6,55 \times 10^{-27}$ erg. segundo)⁴⁵.

43 HEISENBERG, W., *Diálogos sobre la física atómica*, p. 99. Cfr. también, HEISENBERG, W., *Encuentros y conversaciones con Einstein*, p. 35.

44 Publicadas como *Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik*, en “*Zeitschrift für Physik*” 1927 (43), pp. 172-198.

45 Cfr. todo el razonamiento en BOLZÁN, J. E., *Indeterminismo, causalidad y física cuántica*, Sapientia, 1957 (XII), p. 189.

En palabras del mismo Heisenberg: “Si buscamos el efecto cuantitativo de esta perturbación, encontramos que, en muchos casos, la precisión con la cual diferentes variables pueden ser conocidas simultáneamente no puede pasar un cierto límite (...) Este límite de la precisión con la cual diferentes variables pueden ser conocidas simultáneamente puede ser postulado como una ley de la naturaleza, bajo la forma de ‘relaciones de indeterminación’”⁴⁶.

Veamos con un poco más de precisión lo que esto quiere decir. En física clásica, podemos describir el estado de una partícula mediante ocho variables. Las cuatro coordenadas del espacio y tiempo (x, y, z y t en nuestro esquema) y otras cuatro que son sus conjugadas (p_x, p_y, p_z y w) que nos indican el estado dinámico del corpúsculo caracterizado por su energía y su cantidad de movimiento. W representa la energía y p_x, p_y y p_z representan las tres componentes de la cantidad de movimiento según los tres ejes de coordenadas cartesianas (fig. 1).

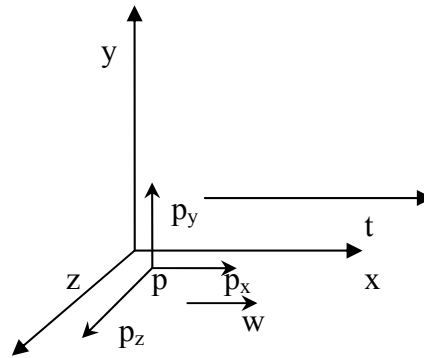


Fig. 1

Según la mecánica clásica, una vez conocidas para un punto p las ocho cantidades anteriores, quedan determinados hacia el futuro todo el movimiento y las posiciones sucesivas de la partícula. Toda la imagen determinista de la física clásica se asentaba en la exacta localización y determinabilidad completa de las entidades físicas básicas⁴⁷.

Ahora bien, según las relaciones de incertidumbre de Heisenberg, el supuesto de que es posible conocer las ocho cantidades es imposible, porque toda la determinación de una de estas ha de hacerse físicamente por un pro-

46 HEISENBERG, W., *Les principes physiques de la théorie des quantas*, Jaques Gabay, Paris, 1990 (reimpresión del original de 1930), p. 3.

47 Cfr. QUERALTÓ, *Indeterminismo y Racionalidad. En torno al problema de la causalidad en física*, Sapientia, 1988, p. 70.

cedimiento que altera el valor de su cantidad conjugada, y esta alteración es mayor cuanto con mayor exactitud se determine una de las cantidades. Las cantidades que se alteran al medirse sus conjugadas se expresan en la siguiente tabla.

DETERMINACIÓN EXACTA DE	INVOLUCRA INCERTIDUMBRE EN
Posición	Momento
Momento	Posición
Energía	Tiempo
Tiempo	Energía

Al ser imposible conocer por completo el estado inicial de un sistema, aunque sea de una sola partícula, será imposible seguir sosteniendo el principio determinista de la previsión de todo el futuro de ese sistema. En efecto, si $\Delta q \rightarrow 0$, entonces deberá verificarse $\Delta p \rightarrow \infty$, lo que significa que p , la variable conjugada de q , quedará por completo indeterminada. El único conocimiento futuro que se podrá tener del sistema es un conocimiento probabilístico o estadístico. Así, “la acción de las relaciones de indeterminación sólo es evidente en el hecho de que toda experiencia que hace posible una determinación de la posición perturba necesariamente en cierto grado el conocimiento de la velocidad. Supongamos, por ejemplo, que la velocidad de un electrón se conoce con precisión y la posición es completamente desconocida. A continuación, toda observación ulterior de la posición modificará el impulso del electrón, y esta modificación será una cantidad indeterminada de tal manera que después de la experiencia nuestro conocimiento del movimiento del electrón se verá limitada por las relaciones de indeterminación”⁴⁸.

Veamos cuál es la dificultad experimental para afirmar que no se puede conocer una variable sin alterar la otra. Supongamos que dispusiéramos de un microscopio lo suficientemente capaz como para ver directamente un electrón que se mueve alrededor del núcleo atómico y precisar su posición en un momento dado. Sería necesario para ello iluminar el electrón por medio de una luz u onda electromagnética que nos lo permitiera ver. Ahora bien, siendo la magnitud del electrón muy inferior a la longitud de onda de los rayos de

48 HEISENBERG, W., *Les principes physiques de la théorie des quantas*, p. 15.

luz ordinaria, no serían estos reflejados por el electrón, por lo tanto no lo veríamos. Supóngase así, que lo iluminamos con ondas de período muchísimo menor, lo suficientemente corto como para que las ondas sean reflejadas por el electrón; con rayos γ por ejemplo, cuya longitud de onda es de 5 a 50 veces menor que el radio del átomo de H. Si quisiéramos definir con una medición única la posición instantánea y la velocidad, ésta se obtendría a base del efecto Doppler-Fizeau, o sea, por la variación de la longitud de onda λ de los rayos empleados y devueltos por el electrón. Se sabe por la experiencia que en ese caso tiene lugar el efecto Compton⁴⁹, de modo que, al chocar las ondas iluminantes (fotones) con el electrón, éste variaría de velocidad, y aun tal vez sería expulsado del átomo. Cuanto menor fuese la longitud de onda λ de los rayos empleados, y, por consiguiente, cuanto mayor fuese su frecuencia, tanto más fuerte sería el efecto Compton y más importante la variación sufrida por la velocidad. Por lo tanto, si se quisiera alcanzar una precisión elevada en la determinación de la velocidad por medio del efecto Doppler-Fizeau, habría que usar un rayo de la máxima longitud de onda posible, con objeto de reducir la inevitable perturbación debida al efecto Compton; pero entonces resultaría imposible determinar con exactitud el punto ocupado por el electrón, a causa de la difracción de las ondas, difracción que alcanza tanto más valor cuanto mayor es la longitud de onda. Por el contrario, si se quiere determinar con precisión la posición del electrón hay que iluminarle con onda de longitud tanto más pequeña cuanto más exactamente se desee llevar a cabo la determinación, y entonces se alterará tanto más su velocidad por el efecto Compton en el choque con la onda (fotón). Se ve de esta manera que se da una doble imprecisión, cuyo producto no será menor a la constante de Planck. Exactamente lo que proponen las relaciones de incertidumbre⁵⁰.

Ahora sí estamos en condiciones de explicar el comportamiento de un electrón en la cámara de niebla. Veamos la manera en que Heisenberg describe cómo se lleva a cabo un experimento en la física cuántica: “Podemos

49 El efecto Compton se produce cuando la longitud de onda de los rayos X producidos por el choque entre rayos de luz y electrones es mayor que la longitud de onda de los rayos de luz originales. Esto implica que una parte de la energía y el momento de los fotones originales es transferida a los electrones. Ver COMPTON, A. H., *A Quantum Theory of the Scattering of X-Rays by Light Elements*, Physical Review 1923 (21), pp. 483-502.

50 Cfr. todo el razonamiento en RIAZA MORALES, J. M., *Azar, ley, milagro*, pp. 667-668, y HEISENBERG, W., *Les principes physiques de la théorie des quantas*, pp. 20-23, y toda la tercera parte del capítulo 1, donde realiza varios experimentos mentales de este tipo. Con este experimento mental parece que, mientras que el presente está perfectamente determinado, lo que queda indeterminado es el futuro, por la acción del observador. Veremos cómo para Heisenberg la indeterminación es también del presente en el siguiente apartado.

interesarnos en el movimiento de un electrón en una cámara de niebla y podemos determinar, mediante algún tipo de observación, la posición y velocidad iniciales del electrón. Pero esta determinación no habrá de ser precisa; contendrá, por lo menos, las inexactitudes de las relaciones de incertidumbre. Esto nos permite traducir los resultados al lenguaje matemático de la teoría cuántica. Se escribe una función de probabilidad que representa la situación experimental en el momento de la medición (...).

Cuando se ha determinado la función de probabilidad, puede calcularse según las leyes de la teoría cuántica la función de probabilidad para un instante posterior. (...) Podemos pronosticar la probabilidad de encontrar al electrón en un instante dado en un determinado punto de la cámara de niebla. Debe hacerse notar que la función de probabilidad no representa por sí misma una serie de acontecimientos en el transcurso del tiempo. Representa una tendencia hacia acontecimientos. La probabilidad puede relacionarse con la realidad siempre que se efectúe una nueva medición del sistema”⁵¹.

Así Heisenberg determina tres pasos en todo experimento en física cuántica, a saber:

1. Traducción del estado inicial del sistema al lenguaje matemático, formulando la función de probabilidad.
2. Seguimiento de esta función en el curso del tiempo.
3. Establecimiento de una nueva medición, cuyo resultado puede ser calculado mediante la función de probabilidad.

“La nueva observación introduce en la función de probabilidad un cambio discontinuo; selecciona de entre todos los acontecimientos posibles, el que efectivamente ha tenido lugar. La transición de lo ‘posible’ a lo que está en acto, se produce en el momento de la observación”⁵².

Así, la expresión matemática de lo observado en términos de la mecánica cuántica, lo que Heisenberg llama la función de probabilidad, no describe un acontecimiento futuro determinado, como lo haría cualquier ecuación de la mecánica clásica, sino que describe un conjunto de posibles sucesos. La función de probabilidad nos dice que podremos encontrar al electrón dentro de un determinado sector (el determinado en la cámara de niebla por las gotitas de agua), pero no en un punto en particular. Esto es lo que se llama nube de probabilidad. Pero a la vez, la probabilidad no significa caos ni absoluta indeterminación: existe un orden de probabilidades respecto a los parámetros que

51 HEISENBERG, W., *Física y filosofía*, p. 38.

52 HEISENBERG, W., *Física y filosofía*, p. 39.

definen el sistema como entidad física. El fenómeno mecanocuántico no está absolutamente indeterminado sino que puede oscilar dentro de un cuadro de valores probabilísticos. Así, el sistema no seguirá una evolución determinista pero sí obedecerá a las leyes de probabilidad⁵³. Para averiguar el lugar en que el electrón se halla será preciso repetir el experimento varias veces. Cada vez se lo encontrará en un lugar distinto del anterior. Pero si se toma el valor medio de las medidas realizadas, se conocerá la probabilidad de que el electrón se halle en un lugar determinado.

“En cada punto obtenemos nueva información sobre el estado del electrón, de manera que tenemos que sustituir el paquete de ondas original por uno nuevo que represente esa nueva información. El estado del electrón así representado no nos permite asignar al electrón en órbita propiedades definidas, como coordenadas, momento, etc. Lo único que podemos hacer es hablar de la probabilidad de encontrar el electrón, en condiciones experimentales adecuadas, en un cierto punto, o de encontrarlo con un cierto valor de la velocidad. (...) El estado puede cambiar con cualquier nueva información”⁵⁴.

Además, es preciso decir, que este concepto de función de probabilidad, no permite referirse a lo que sucede entre dos observaciones. Lo que suceda entre las dos observaciones, en cierto sentido, queda fuera del alcance de los científicos⁵⁵. Los llamados interferenómenos son absolutamente inobservables y, por ende, indescriptibles⁵⁶.

Hasta aquí, la física de Heisenberg. Es preciso ahora entrar en terreno filosófico e intentar comprender lo más hondamente posible las interpretaciones filosóficas que el autor propone de este nuevo principio de la física. ¿Es un principio íntimo de las cosas, es decir, algo perteneciente a la esencia misma de la realidad? ¿No es, más bien, una dificultad del conocimiento imperfecto del hombre, o más aún, del poco conocimiento que se tiene de la naturaleza y que no nos permite todavía penetrar hasta su más honda profundidad? ¿Será posible con la técnica acceder a visualizar los electrones girando alrededor del núcleo atómico? ¿Acaso cae el principio de causalidad? ¿Qué entienden los físicos, y entre ellos el mismo Heisenberg, por causalidad? Intentaremos

53 Cfr. QUERALTÓ, *Indeterminismo y racionalidad*, pp. 77-78.

54 HEISENBERG, W., *Encuentros y conversaciones con Einstein*, p. 36.

55 En el último apartado, dedicado a la interpretación filosófica de la física cuántica, analizaremos este problema.

56 Existen interpretaciones de la mecánica cuántica que se refieren a los interferenómenos como posibles de ser descritos. Estas son las que Selvaggi llama *interpretazioni esaurienti*, contrapuestas a la *interpretazione restrittiva* de Reichenbach, que pareciera ser la interpretación de Heisenberg.

resolver estos interrogantes recurriendo a las obras del mismo Werner Heisenberg.

6. LA INTERPRETACIÓN FILOSÓFICA DE LAS RELACIONES DE INCERTIDUMBRE SEGÚN HEISENBERG

Será interesante comenzar estas reflexiones con un pensamiento del mismo Heisenberg, traído a la memoria por Xavier Zubiri: “Muchas abstracciones características de la moderna física teórica han sido tratadas ya en la filosofía de siglos pasados. Mientras estas abstracciones fueron desechadas entonces como juegos de pensamiento por los científicos, atentos sólo a las realidades, el afinado arte experimental de la física moderna nos fuerza a discutir las a fondo”⁵⁷.

El indeterminismo de la mecánica cuántica traía consigo la necesidad ineludible de investigar una nueva imagen de la realidad física acorde con los niveles de esa misma realidad a la que ese indeterminismo se refería. La teoría cuántica necesariamente implicaba un cambio profundo en los contenidos e imagen de la naturaleza⁵⁸. Heisenberg ha afrontado el problema de qué debe entenderse por realidad física, es decir, de qué es naturaleza en el sentido de la física. En la nueva física se asiste a la elaboración de una nueva idea de la realidad física, de la Naturaleza. Por esto, y en este preciso sentido, la nueva física es un problema de filosofía, y en última instancia es un problema de ontología de la Naturaleza. Así, el principio de indeterminación suministra el fundamento real de esta nueva concepción del mundo físico⁵⁹.

Heisenberg afirma lúcidamente que “la física es una parte de la ciencia y que, como tal, persigue una descripción y una comprensión de la naturaleza”⁶⁰. Ahora bien, esta parte de la ciencia, por sí misma, podrá pedir un nuevo concepto de Naturaleza, e incluso desecharlo; pero, por sí sola no puede crearlo. Es preciso recurrir a la filosofía de la naturaleza para alcanzar esta nueva imagen de ella. Y esto es lo que hace Heisenberg. Intenta dar una interpretación de la expresión matemática de la física cuántica, y con ella una nueva imagen de la realidad física, pasando así del plano físico al plano filosófico de reflexión. Creo que es claro este paso del Heisenberg en sus textos cuando habla de ‘naturaleza’ y hasta de ‘ontología de la mecánica cuántica’.

57 HEISENBERG, W. citado por ZUBIRI, X., *Naturaleza, historia, Dios*, Alianza - Sociedad de Estudios y Publicaciones, Madrid, 1987, p. 352.

58 Cfr. QUERALTÓ, *Indeterminismo y racionalidad*, p. 81.

59 Cfr. ZUBIRI, X., *Naturaleza, historia, Dios*, p. 332.

60 Cfr. HEISENBERG, W., *Física y filosofía*, p. 120.

tica', como veremos más adelante. Heisenberg se para en el mismo plano epistemológico en el que se encontrarán las reflexiones de Aristóteles y Tomás, en la filosofía de la naturaleza, y por esto es que podremos relacionarlos y complementar un pensamiento con otro.

Dentro de los tantos problemas filosóficos a los que Heisenberg se vio llamado por sus estudios de física, sobre todo del nuevo campo de la física que, junto con otros tantos científicos, él mismo estaba comenzando a investigar, hemos rescatado cinco de ellos como los más interesantes. Esto no quiere decir que los restantes sean menos importantes, sin embargo, dado el objetivo de este trabajo, decidimos dejarlos para otra ocasión.

Estos cinco problemas son:

1. Problema del subjetivismo.
2. Ontología de los fenómenos cuánticos.
3. El indeterminismo como ley de la naturaleza.
4. El indeterminismo y el problema de la causalidad.
5. Los problemas del lenguaje dentro de la física moderna.

Desarrollaremos primero la opinión de Heisenberg acerca de estos temas. Estas opiniones no tendrán para nosotros un valor de respuesta definitiva a los problemas, sino de cuestionamiento dado que Heisenberg, como muchas veces hemos repetido, no fue filósofo, sino científico. Luego nos abocaremos a buscar las respuestas a estos temas inspirados en de la filosofía de Santo Tomás y Aristóteles.

6.1. *El problema del subjetivismo*

Dada la imposibilidad teórica y práctica de observación de los fenómenos cuánticos, nuestras ideas acerca de la ciencia y sus fundamentos deben cambiarse: "Las experiencias del mundo atómico obligarán a renunciar aún a las más radicales de las antiguas ideas. De hecho, nuestra manera habitual de describir la naturaleza, y en particular nuestra creencia en la existencia de leyes rigurosas entre los fenómenos naturales se basa en la hipótesis de que es posible observar los fenómenos sin influenciarlos significativamente"⁶¹.

Hasta el momento de la postulación de estas relaciones de incertidumbre era posible observar los fenómenos sin tener en cuenta las variaciones que se producían en el mismo por la interacción entre el observador y el fenómeno. A partir de tal postulación, esto es del todo imposible. El observador siempre

61 HEISENBERG, W., *Les principes physiques de la théorie des quantas*, p. 51.

estará inmerso en el mundo del fenómeno observado, alterándolo y modificándolo sin poder evitarlo.

En las funciones de probabilidad de la mecánica cuántica están representados el estado inicial de sistema, teniendo en cuenta las relaciones de incertidumbre, pero también nuestro conocimiento del mismo, con sus imprecisiones y errores. Por lo tanto, encontramos en ella un aspecto de objetividad (el estado inicial y la tendencia o posibilidad objetiva de la naturaleza a desarrollarse en el futuro) y un aspecto subjetivo (nuestro conocimiento del sistema, que puede ser distinto del de otro observador)⁶².

Estos dos aspectos de la función de probabilidad imponen el tratamiento de un nuevo problema: ¿es acaso subjetiva la nueva física moderna? ¿Podemos hablar de lo que realmente sucede en los fenómenos observados de un proceso atómico? Para responder a estas preguntas es necesario tener en cuenta lo que Heisenberg piensa acerca de la realidad, naturaleza y existencia misma de los fenómenos cuánticos. A esto nos referiremos en seguida.

6.2. *La ontología de los fenómenos cuánticos*

Partiendo de las relaciones de incertidumbre encontradas gracias a la propuesta de los cuantos de acción de Planck en la física cuántica, se plantea ahora el problema de la realidad ontológica que tienen, o lo que realmente son las cosas del mundo cuántico. ¿Qué raíces filosóficas, irrenunciables para sus defensores, llevaba implícitas la física clásica determinista? Habiendo visto este problema, Heisenberg intenta una respuesta⁶³. En primer lugar, hace una distinción acerca del significado del término 'realismo'. Propone tres tipos distintos de realismos, que encuentra en la ciencia clásica. Todos provenientes, como bien lo nota el mismo Heisenberg, del racionalismo moderno de R. Descartes, a saber:

1. *Realismo práctico*: admite que existen juicios que pueden ser objetivados y que de hecho la mayor parte de nuestros juicios de la experiencia de la vida cotidiana son objetivables. Es por esto una parte esencial de la ciencia.
2. *Realismo dogmático*: sostiene que no hay juicios concernientes al mundo material que no puedan ser objetivados. Es decir, que todo juicio acerca del mundo material puede ser objetivado. Este realismo no es condición necesaria para fundamentar la ciencia. Sin embargo, la posi-

62 Cfr. HEISENBERG, W., *Física y filosofía*, p. 37.

63 Cfr. QUERALTÓ, *Indeterminismo y racionalidad*, p. 71.

ción corriente de los científicos de la física clásica lo sostiene, dado que cualquiera de ellos que realice un trabajo de investigación siente que está buscando algo que sea objetivamente verdadero.

3. *Realismo metafísico*: va un paso más allá que el anterior diciendo que las cosas ‘realmente existen’. La diferencia de este realismo con el anterior es el afirmar la existencia de las cosas. Pero parece difícil distinguirlos con más precisión⁶⁴. Podríamos, sin embargo, decir que los dos primeros realismos parecen ser epistémicos, mientras que este tercero hace afirmaciones metafísicas. Es decir, en los dos primeros, el término realismo está utilizado en sentido de ‘objetivismo’, mientras que el tercero verdaderamente podría llamarse ‘realismo’. En el objetivismo (cualquiera de los dos tipos) parecería afirmarse que las cosas se manifiestan al sujeto, pero la importancia está puesta en el conocimiento que éste tiene de aquéllas. No es necesario distinguir entre su existencia o su inexistencia fuera de su manifestación. Mientras que en el realismo de la manifestación de las cosas se pasa a su existencia, o, en términos kantianos, del fenómeno al noúmeno.

Para Heisenberg, un juicio objetivado es aquel en el que su contenido no depende de las condiciones bajo las cuales puede ser verificado⁶⁵. Surge ahora la pregunta acerca de qué tipo de realismo sostendrá Heisenberg para interpretar la mecánica cuántica. Sin duda alguna acepta el realismo práctico como aquel que está presente en todas las ciencias siendo parte esencial de ellas, y que nunca dejará de estar, ya que el único modo de comunicar los resultados de experimentos y observaciones es utilizar los términos comunes del lenguaje cotidiano, es decir, el lenguaje del realismo práctico.

En cuanto al realismo dogmático, según Heisenberg, su aceptación no es una condición necesaria para la ciencia. Dado que se puede decir que la física de los cuantos, en la medida de lo posible, todavía se corresponde con el ideal de la descripción objetiva del mundo, es decir, que, para Heisenberg, la física cuántica no configura los eventos atómicos como un producto del pensamiento del observador o como una creación del espíritu, se debe afirmar que la interpretación de Heisenberg considera como fundamento de toda interpretación física las cosas y los procesos que pueden ser descritos en los términos conceptuales clásicos. Esto se ve en lo que proclama Heisenberg al dar vuelta la famosa expresión de Berkeley: “ser percibido es idéntico con la existen-

64 Para esta clasificación cfr. HEISENBERG, W., *Física y Filosofía*, pp. 62-63, y SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, pp. 304-305.

65 HEISENBERG, W., *Física y Filosofía*, p. 62.

cia”⁶⁶. Con esto, propone Selvaggi, Heisenberg asume la trascendencia metafísica del ser: toda filosofía será una verdadera afirmación sobre el ser, y por lo tanto, una metafísica⁶⁷. Sin embargo, siempre entra, en toda descripción de estos fenómenos, la variable de la observación y las modificaciones introducidas por ella. Por lo tanto debe afirmarse que nuestro conocimiento y descripción de la naturaleza no serán completamente objetivos, por lo que el realismo dogmático queda fuera de la línea de la física cuántica.

Llegamos por último al realismo metafísico, del cual no se ve clara la posición de Heisenberg, por lo que él mismo dice que no puede diferenciarlo mucho del anterior. Identifica al realismo metafísico (y con él al realismo dogmático también) con la ontología materialista de la distinción cartesiana de *res cogitans* y *res extensa*. Es claro que toda la ciencia natural se encargará de la *res extensa* (como parecería que históricamente lo hizo la ciencia clásica), dejando de lado absolutamente la *res cogitans*. Afirma Heisenberg correctamente que esta distinción cartesiana es del todo brusca y trae consigo múltiples dificultades. En esta ontología materialista se observa la idea de un mundo real y objetivo, donde las partículas mínimas existen objetivamente en el mismo sentido en el que existen las piedras, independientemente del hecho de que sean observadas o no⁶⁸. Y dado que cualquier conocimiento de lo real es —a causa de las leyes cuánticas— por su propia naturaleza, un conocimiento incompleto, hay en él un implícito rechazo del realismo metafísico. La defensa del determinismo tenía sus últimos fundamentos no en la física como tal sino en la metafísica derivada de la imagen mecanicista de la realidad física⁶⁹.

Debemos detenernos a describir brevemente esta ontología materialista para poder comprender el radical cambio que Werner Heisenberg propondrá con su interpretación de los fenómenos cuánticos. En todas las interpretaciones de los fenómenos cuánticos distintas de la de Copenhague, es decir, la de Heisenberg y Bohr, “fácilmente se advierte que lo que reclaman es la antigua ontología materialista”⁷⁰. Pero, según nuestro autor, “la ontología del materialismo descansa sobre la ilusión de que el género de existencia, la directa ‘realidad’ del mundo que nos rodea, puede ser extrapolada dentro del ámbito atómico. Esta extrapolación es imposible”⁷¹.

66 HEISENBERG, W., *Física y filosofía*, p. 64.

67 SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, p. 305.

68 Cfr. HEISENBERG, W., *Física y filosofía*, p. 106.

69 Cfr. QUERALTÓ, *Indeterminismo y racionalidad*, p. 75.

70 HEISENBERG, W., *Física y filosofía*, p. 120.

71 HEISENBERG, W., *Física y filosofía*, p. 121.

Intentaremos elucidar lo que Heisenberg intenta expresar con el término ‘ontología materialista’ utilizando los conceptos aristotélicos de *acto* y *potencia*, tal y como él mismo lo insinúa al describir un experimento tipo en mecánica cuántica⁷². Para la ontología materialista de la física clásica, lo real es tan sólo lo actual, lo que está en acto. La realidad es en sí misma objetivamente y plenamente determinada y actual, independientemente de cualquier tipo de observación o de medición en sus parámetros espacio-temporales. Para este tipo de pensamiento, el concepto de realidad se aplica a las cosas o eventos que se pueden percibir con los sentidos o con cualquier instrumento tecnológico para tal fin. La materia absolutamente determinada era la misma realidad: la *res extensa* cartesiana. Esta ontología materialista se remonta al mismo Parménides, para quien sólo es real el ser, entendiendo el ser de manera unívoca, y a Demócrito, quien continuó la doctrina parmenídea del ser unívoco y la transformó en puro mecanicismo atómico.

El único indeterminismo que puede aceptar esta ontología es un indeterminismo meramente gnoseológico o epistemológico, dado que la realidad está ontológicamente determinada. Lo que no nos permitiría conocer la realidad sería un problema de nuestra estructura de conocimiento, ya sea de nuestro tipo de conocimiento, ya sea que provenga en parte de una falta de desarrollo tecnológico. Este es el realismo metafísico (cartesiano) que Heisenberg está rechazando⁷³.

Heisenberg mismo habla de una nueva ontología de la física cuántica, y es la que intentaremos explicar⁷⁴. En la física de los cuantos, además de lo actual, también lo potencial (es decir, lo que está en potencia) es real. Es interesante ver que Heisenberg recurre, para explicar lo que pasa con la indeterminación en los niveles subatómicos, al concepto de potencia de Aristóteles aplicándolo a estos argumentos. Hablando de cómo emplear los conceptos de la física clásica a los fenómenos de la física cuántica dice: “El concepto de ‘temperatura’ parece describir en termodinámica una imagen objetiva de la realidad, una propiedad objetiva de la materia. (...) Pero cuando intentamos definir lo que puede significar la temperatura de un átomo nos encontramos en una posición mucho más difícil. En realidad, no podemos correlacionar este concepto de ‘temperatura del átomo’ con una propiedad bien definida del

72 HEISENBERG, W., *Física y filosofía*, p. 39.

73 Cfr. HEISENBERG, W., *Encuentros y conversaciones con Einstein*: “Es probable que en nuestros conceptos tengamos que abandonar el materialismo de Demócrito”, p. 24, y, también hablando acerca del materialismo de Demócrito, dice más adelante: “Se está echando a perder buena física por culpa de mala filosofía”, p. 90.

74 Cfr. HEISENBERG, W., *Física y filosofía*, p. 157.

átomo sino que tenemos que relacionarlo, al menos parcialmente, con nuestro insuficiente conocimiento del mismo. Podemos correlacionar el valor de la temperatura con ciertas suposiciones estadísticas sobre las propiedades del átomo, pero parece muy dudoso que una suposición pueda llamarse objetiva. De una manera similar, en la teoría cuántica todos los conceptos clásicos, cuando se aplican al átomo, están tan bien o tan poco definidos como el de 'temperatura del átomo'; están correlacionados por suposiciones estadísticas (...) Aquí también, como en la termodinámica clásica, es difícil llamar objetiva a la suposición. Podría, quizás, dársele el nombre de tendencia objetiva o de posibilidad, una *potentia* en el sentido de la filosofía aristotélica. En realidad, creo que el lenguaje empleado por los físicos cuando hablan sobre los acontecimientos atómicos produce en sus mentes nociones similares a la del concepto de 'potentia'. El lenguaje ha terminado acomodándose (...) a esta situación real"⁷⁵.

Nótese que cuando Heisenberg habla de objetividad lo que está rechazando es la ontología materialista, más cuando, al final del texto, habla de situación real, está aceptando una realidad metafísicamente existente independiente del observador, y con ello aceptando un cierto realismo metafísico, pero no de tipo cartesiano, sino más amplio. Según los conceptos de esta nueva física (yo diría de esta nueva ontología de la física cuántica), la realidad física deviene actual en el momento de la observación, mientras que no lo es cuando no está siendo observada. En esos momentos todavía lo real es, en gran medida, potencial o indeterminado, susceptible de actualizaciones diversas según la interacción a la que se verá sometida por el observador, es decir, que poseerá una indeterminación previa a la observación, mas, a su vez, una indeterminación dada por la observación, es decir, que por la observación la determinación que acaecerá en el sistema está también indeterminada: "La transición entre la 'potencia' y el 'acto' tiene lugar tan pronto como se produce la interacción entre el objeto y el instrumento de medida, y, con ello, el resto del mundo; no se relaciona con el acto de registrar el resultado en la mente del observador"⁷⁶.

75 Cfr. HEISENBERG, W., *Física y filosofía*, pp. 152-153.

76 HEISENBERG, W., *Física y filosofía*, p. 39. Con esto se responden las preguntas acerca del subjetivismo planteadas en el apartado anterior. Además, dice Heisenberg que "la teoría cuántica no contiene rasgos genuinamente subjetivos; no introduce la mente del físico como una parte del acontecimiento atómico". Heisenberg, *Física y filosofía*, p. 40. Y también: "Si repetimos muchas veces los experimentos, estamos finalmente en condiciones de deducir de las observaciones distribuciones estadísticas, y si repetimos tales series de experimentos, podemos llegar a juicios objetivos acerca de estas distribuciones. Éste método es en la física de partículas el pan nuestro de cada día". HEISENBERG, W., *Encuentros y conversaciones con Einstein*, p. 17.

Esta potencialidad está expresada en la función de probabilidad que antes hemos explicado. La indeterminación se encuentra expresada en la nube de probabilidades donde encontrar al electrón, el que realmente está donde puede ser encontrado⁷⁷. Es decir, está en potencia en todos los lugares de esa nube de probabilidad o en todos los lugares de las gotitas de la cámara de niebla. Será actualizado en tal o cual lugar mediante la observación.

La función de probabilidad contiene afirmaciones acerca de posibilidades, o mejor dicho tendencias (la potencia en la filosofía de Aristóteles)⁷⁸. La función de probabilidad implica una tendencia, una verdadera potencialidad objetiva, de la naturaleza de desenvolverse de cierto modo, dentro de los límites de las relaciones de indeterminación⁷⁹. Por estas razones es que no pueden ser descritos los llamados anteriormente interfenómenos: “La realidad física, en sí misma independiente del acto físico de observación, no es una ‘cosa’ objetivable, una realidad actual, sino solamente una posibilidad o potencialidad, una tendencia, que es ciertamente objetiva y real, pero en un significado distinto de aquel con que las cosas de la experiencia directa son llamados reales”⁸⁰.

Con estas consideraciones, Heisenberg abre paso a una concepción de la realidad más rica, menos rígida, dejando de lado a Parménides para darle más lugar a la metafísica del acto y la potencia de Aristóteles, una metafísica del ser análogo, en vez de una metafísica del ser unívoco⁸¹.

6.3. Ley de la naturaleza

Una de las grandes consecuencias que se ha sacado de estas relaciones de incertidumbre es el definitivo carácter estadístico de la nueva física. Aunque muchos, entre ellos Albert Einstein y el mismo Max Planck, estén en desacuerdo con estas conclusiones, éstas parecerían ser definitivas. Esto es así dado que —y éste es el punto decisivo de la cuestión— no es tan solo una limitación del conocimiento humano o de su técnica para observar los

77 Cf. ZUBIRI, X., *Naturaleza, historia, Dios*, p. 330.

78 HEISENBERG, W., *Física y filosofía*, p. 37.

79 Cf. SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, p. 303.

80 SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, pp. 310-311.

81 Es importante notar que Heisenberg no profundiza ulteriormente, en otras obras, este concepto de ‘potencialidad’ o ‘tendencia’ dentro de su interpretación filosófica. Sin embargo, es necesario recalcar que esta obra que estamos analizando, *Física y filosofía*, es, podemos decirlo así, de madurez, después de la cual cambian sus intereses físicos y filosóficos. Se trata de una de las últimas obras en las que se refiere al problema de la indeterminación y de su interpretación de la mecánica cuántica.

fenómenos atómicos, sino que es una misma ley de la naturaleza que esto no sea posible. Tampoco es que, como antes vimos, la cosa esté de suyo determinada y que por el acto de observación sea perturbada, quedando indeterminado el efecto de esa perturbación. Sin embargo, lo real tampoco es lo meramente observable. Como antes pudimos apreciar en los textos de Heisenberg, lo real tiene una independencia del observador, pero esta realidad es, en parte, potencial, tendencial, posible, y es determinado, actualizado en su potencialidad por la observación.

Por esto es que Heisenberg afirma que estas relaciones de indeterminación son, sin dudas, una ley natural. No hay posibilidad de que el observador no incida ni altere las observaciones. Dada la posibilidad y tendencia de los fenómenos cuánticos, con la observación se impone un carácter probabilístico a futuras observaciones, como hemos visto en la descripción que Heisenberg hace de las funciones de probabilidad: “Este límite en la precisión con la cual las diferentes variables pueden ser conocidas simultáneamente puede ser postulado como una ley de la naturaleza, bajo la forma de ‘relaciones de indeterminación’”⁸². De esto se debe concluir que necesariamente nuestro conocimiento de los fenómenos cuánticos está limitado a las relaciones de incertidumbre. El orden de magnitud de la constante de Planck es una frontera, no sólo de hecho, sino esencial⁸³.

Debemos afirmar que, según nuestro parecer, a partir de los progresos que el mismo Heisenberg hizo con su mecánica de matrices en la física cuántica, no es posible concluir todavía el indeterminismo ontológico que defiende luego en sus escritos de divulgación y más filosóficos, sino tan sólo un indeterminismo gnoseológico, no fundado en nuestra incapacidad o en problemas técnicos, sino más bien en la misma naturaleza. Y esto es lo que llama la atención de Heisenberg. Es la misma naturaleza de las cosas la que no nos permite conocerla, es la misma naturaleza de las cosas la que nos impone un límite a nuestro conocimiento. Y aquí surge en la conciencia de Heisenberg el porqué de esta limitación impuesta por la naturaleza: porque la misma naturaleza no está determinada.

Es mi opinión que Heisenberg primero tomó conciencia de esto y luego, buscando alguna explicación para esta postura ante la naturaleza, la encontró en el concepto de potencia de la filosofía aristotélica. Pidió ‘prestados’ estos conceptos de acto y potencia para poder explicar la indeterminación intrínseca en la naturaleza que fundamenta la indeterminación de nuestro conoci-

82 HEISENBERG, W., *Les principes physiques de la théorie des quantas*, p. 3.

83 Cfr. ZUBIRI, X., *Naturaleza, historia, Dios*, p. 329.

miento de ella. Y es en este momento del pensamiento de Heisenberg donde hace el paso de un plano a otro, de la física a la filosofía de la naturaleza. Por esto es que F. Selvaggi dice que Heisenberg abandona la ontología materialista para pasar a una ontología de la potencia de la materia, a una ontología más aristotélica y no tan parmenídea o mecanicista como la de la filosofía de Demócrito.

6.4. *El principio de causalidad*

En su primer escrito a propósito de las relaciones de incertidumbre Heisenberg proponía que “si se admite como correcta, al menos en sus puntos esenciales, la explicación de la mecánica cuántica aquí intentada, debiera ser permitido concluir en pocas palabras sus principales consecuencias. No hemos supuesto que la teoría cuántica, en contraposición con la teoría clásica, sea esencialmente una teoría estadística en el sentido que de datos exactamente dados sólo puedan sacarse consecuencias estadísticas. Contra semejantes suposiciones hablan, por ej., las conocidas experiencias de Geiger y Bothe. Más aún, en todos los casos en que se cumplen dentro de la teoría clásica relaciones entre magnitudes todas exactamente mensurables, valen también en la teoría cuántica las correspondientes relaciones exactas (leyes del impulso y de la energía). Pero en la formulación precisa de la ley de causalidad: ‘cuando conocemos suficientemente el presente podemos calcular el futuro’, no es falsa la consecuencia sino la premisa. En principio no podemos conocer el presente en todos sus mínimos detalles. Por ello, toda observación es una selección entre una multitud de posibilidades y una restricción del futuro posible. Luego, el carácter estadístico de la teoría cuántica está tan ligado a la imprecisión de toda observación que uno podría sentirse inducido a suponer la existencia, detrás del mundo estadístico percibido, de un mundo ‘real’, donde rige la ley de causalidad; pero tal especulación nos parece, insistimos, estéril y sin sentido. La física no debe sino describir formalmente relaciones de observaciones; más aún, se puede caracterizar mucho mejor el estado de cosas así: puesto que todos los experimentos caen bajo las leyes de la mecánica cuántica, así se constata definitivamente, por medio de la mecánica cuántica, la invalidez de la ley causal”⁸⁴.

Heisenberg parecería querer decir Heisenberg que el principio de causalidad, casi sin determinar lo que por el mismo entiende, debe ser dejado de

84 HEISENBERG, W., *Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik*. Traducido por BOLZÁN, J. E. en *Indeterminismo, causalidad y física cuántica*, p. 189.

lado, a favor de una afirmación total de la casualidad, el azar y la indeterminación. Esta primera concepción de la causalidad ha traído grandes inconvenientes dentro de la filosofía, pues se ha llegado a afirmar que gracias a la física cuántica hemos, al menos, puesto en duda la existencia de Dios. En palabras de Francesco Orestano “nadie puede hacerse ilusiones al respecto: que muchos conceptos y principios ontológicos sobre los cuales descansaban demostraciones de la existencia de Dios, han hoy entrado en una fase crítica (...) El principio de causalidad de la física de los últimos constituyentes del átomo, es decir del mundo, se ha contraído (...) ¿Quién puede sentirse tranquilo al encomendar la prueba de la existencia de Dios a una demostración fundada sobre postulados ontológicos inseguros?”⁸⁵.

Debemos tener en cuenta que el pasaje citado de Heisenberg aparece en el primer escrito, aquel de 1927, acerca de las relaciones de indeterminación. Heisenberg apenas tenía 26 años. Más adelante, en sus obras posteriores, determinará con más exactitud estas ideas acerca del principio de causalidad que cae y debe ser abandonado.

Precisamente en *La Imagen de la Naturaleza en la Física Actual*, de 1955, es donde Heisenberg vuelve a plantear el problema del principio de causalidad. En esta obra comenta brevemente el concepto de causa de Aristóteles, definiendo las 4 causas aristotélicas, y afirma que, en la actualidad, la única que se siguió nombrando con el nombre de causa es la causa eficiente.

Veamos el mismo texto: “El uso del concepto de causalidad como designación de la regla de la causa y el efecto es relativamente reciente en la Historia. En la filosofía de otras épocas, el término latino causa tenía un significado mucho más general que ahora. La escolástica por ejemplo, continuando a Aristóteles, contaba hasta cuatro formas de ‘causa’. Eran ellas la *causa formalis*, a la que hoy llamaríamos acaso la estructura o el contenido espiritual de una cosa, la *causa materialis*, o sea la materia de que una cosa se compone, la *causa finalis*, que es el fin para que una cosa ha sido hecha, y finalmente la *causa efficiens*. Sólo esta *causa efficiens* corresponde aproximadamente a lo que hoy entendemos por el término de causa. La transformación del concepto antiguo de causa en el actual se ha ido produciendo a lo largo de los siglos, en estrecha conexión con la transformación del conjunto de la realidad percibida por el hombre, y con la aparición de la ciencia de la Naturaleza a principio de la Edad Moderna. En la medida en que los procesos materiales fueron adquiriendo un grado mayor de realidad, el término de cau-

85 ORESTANO, F., *Idee e concetti*, in “Opera Omnia”, Catania 1956, v. I, p. 232, citado por SELVAGGI, F., en *Causalità e indeterminismo*, p. 7.

sa fue siendo referido a la ocurrencia material que precediera a la ocurrencia que en determinado caso se tratara de explicar y que de algún modo la hubiera precedido. Ya en Kant, que en muchos pasajes no hace más que sacar las consecuencias filosóficas del desarrollo de las ciencias naturales a partir de Newton, encontramos el término de causalidad explicado en la forma que se nos ha hecho usual desde el siglo XIX: ‘Cuando experimentamos que algo ocurre, presuponemos en todo caso que algo ha precedido a aquella ocurrencia’. Así fue paulatinamente restringiéndose el alcance del principio de causalidad, hasta resultar equivalente a la suposición de que el acontecer de la Naturaleza está unívocamente determinado, de modo que el conocimiento preciso de la Naturaleza o de cierto sector suyo basta, al menos en principio, para predecir el futuro. (...) Cuando al término de causalidad se le da una interpretación tan estricta, acostumbra hablarse de “determinismo”, entendiéndose por tal la doctrina de que existen leyes naturales fijas, que determinan unívocamente el estado futuro de un sistema a partir del actual”⁸⁶.

Ahora sí queda claro qué es lo que Heisenberg ataca de la física moderna con su principio de indeterminación. Nada tiene que ver con el principio de causalidad clásicamente entendido, sino todo lo contrario. Heisenberg tiene plena conciencia de que el principio de causalidad, aquél que se usaba en la escolástica, tal como él lo nombra, no entra dentro de su crítica, y tampoco saca consecuencias al respecto. Es bien patente la identificación que hace de lo que se entiende como principio de causalidad y lo que es el principio del determinismo de la física o ciencia clásica.

6.5. *Problemas de lenguaje*

Otro problema planteado por la física cuántica de Heisenberg, sobre el cual habló muchísimo y con un tono de preocupación, es aquél que se refiere al lenguaje. ¿Cómo hemos de referirnos a los acontecimientos atómicos? Es notorio que tenemos elementos en nuestro lenguaje habitual para describir los fenómenos de nuestra vida cotidiana. Pero cuando llega el turno de referirnos a fenómenos que exceden nuestra cotidianeidad, los elementos del lenguaje quedan cortos, el único camino que tenemos es traspolarlos a las nuevas necesidades de comunicación. ¿Podemos hacer esto? ¿Es lícito? Heisenberg plantea dicho problema en los siguientes términos: todos los vocablos o conceptos con que designamos los objetos físicos corrientes, como posición, velocidad, color, tamaño, etc., se vuelven imprecisos y problemáticos si tratamos de referirlos a las partículas mínimas. (...) El comportamiento de las

⁸⁶ HEISENBERG, W., *La imagen de la naturaleza en la Física actual*, pp. 30-31.

unidades mínimas no se deja describir en el lenguaje corriente de forma no ambigua, el lenguaje matemático permite aún constatar hechos de forma inequívoca⁸⁷.

Resulta imposible referirse, por ejemplo, al movimiento de un electrón dentro de un átomo de forma no ambigua, pues es algo que no puede ser observado. A lo sumo nos podemos referir a los fenómenos observados, por ejemplo, en una cámara de niebla, y para esto necesitaremos el lenguaje corriente, de la física clásica, mas para describir con precisión estos fenómenos debemos recurrir al lenguaje de la física cuántica: el lenguaje matemático. Existe una tensión casi insostenible para los físicos entre la necesidad de claridad total con la que expresarse y la inevitable insuficiencia de los conceptos existentes en el lenguaje corriente.

Sin embargo, Heisenberg también encuentra en el lenguaje matemático preciso una dificultad insalvable. Por su abstracción e idealización el lenguaje matemático, además de referirse únicamente a una parte acotada de la realidad, pierde el contacto con la realidad que el lenguaje corriente tiene. Tal lenguaje es tan sólo una aproximación a la realidad, que debe ser dejado de lado cuando se hace referencia a otros aspectos de la realidad que van más allá de tal aproximación: “Los conceptos del lenguaje ordinario, por grande que sea la imprecisión con que se definen, resultan de una solidez mayor que los precisos conceptos del lenguaje científico, que proceden de la idealización de sólo un grupo limitado de fenómenos. En el fondo no es tampoco esto sorprendente, ya que los conceptos del lenguaje ordinario se han formado en inmediato contacto con el mundo, y representan la realidad; es cierto que no están muy bien definidos y que por ello pueden sufrir también modificaciones en el curso de los siglos (...), pero sin perder nunca el contacto inmediato con la realidad. Por otra parte los conceptos científicos son idealizaciones, se han derivado de experiencias realizadas con la ayuda de los instrumentos más perfeccionados y están definidos con precisión por medio de axiomas. Solamente sobre la base de estas precisas definiciones pueden enlazarse los conceptos con un esquema matemático, y de este modo deducir matemáticamente la infinita variedad de los fenómenos posibles en el dominio correspondiente. Mediante este proceso de idealización y precisa definición, se pierde el contacto inmediato con la realidad. Los conceptos siguen ajustándose muy bien a aquella realidad que había constituido el objeto de la investigación,

87 HEISENBERG, W., *La ley de la naturaleza a la luz de la investigación actual*, Universitas (versión en Lengua Española), Stuttgart, 1969 (VII, 1), p. 2.

pero esta correspondencia puede perderse frente a otros grupos de fenómenos”⁸⁸.

La situación en la que nos encontramos, dice Heisenberg, “puede forzar-nos a concluir que los medios de expresión con que contamos no permiten una descripción clara e inequívoca de los hechos”⁸⁹, y por ende querer quedarnos simplemente con los hechos expresados en lenguaje matemático, lo que no permitiría más que a unos pocos poder acercarse a ellos, además de que sería una solución irreal, pues no sabemos cómo puede aplicarse el lenguaje matemático a los fenómenos. Por lo tanto, para decir verdaderamente que se entienden los fenómenos “la ciencia tiene que confiarse al lenguaje corriente, que es el único en el que podemos tener la seguridad de captar verdaderamente los fenómenos”⁹⁰.

Niels Bohr ilustra esta idea con una figura bastante simpática. Al discutir acerca de estos problemas con Heisenberg, Carl Friedrich y algunos otros científicos en una cabaña en medio de las montañas, dijo: “Con el lavado de la vajilla ocurre exactamente lo mismo que con el lenguaje. Tenemos agua sucia para lavar y trapos sucios de cocina, y, sin embargo, podemos en último término, limpiar con ellos platos y vasos. Lo mismo sucede con el lenguaje. Hay conceptos oscuros y una lógica circunscrita, de forma desconocida, a su zona de aplicación, y, a pesar de todo, logramos con ellos aclarar nuestra comprensión de la naturaleza”⁹¹.

Todas las observaciones de la física cuántica lo son de realidades cuánticas, que no están al alcance del conocimiento desnudo de los sentidos. Por esto, todas estas realidades no son ni pueden ser objetos de conocimiento directo, sino más bien indirecto, a través de instrumentos que muestran procesos macroscópicos, que revelan los fenómenos micro-físicos a los ojos de los científicos. Y estos, tan sólo mediante el cálculo matemático y la interpretación teórica del fenómeno macroscópico visible, deducen la existencia y la naturaleza de aquellos fenómenos cuánticos, que se mantienen inobservables e inobservados⁹².

La existencia del cuanto de acción de Planck y las relaciones de indeterminación han mostrado que los conceptos derivados de la experiencia directa humana (posición de un cuerpo, trayectoria de un movimiento, cantidad de

88 HEISENBERG, W., *El papel de la física moderna en el desarrollo actual del pensamiento humano*, Universitas (versión en español), Stuttgart, 1963 (I, 2), pp. 131-132.

89 HEISENBERG, W., *La ley de la naturaleza*, p. 6.

90 HEISENBERG, W., *La ley de la naturaleza*, p. 6.

91 HEISENBERG, W., *Diálogos sobre la física atómica*, p. 171.

92 Cfr. SELVAGGI, F., *Filosofía del mundo*, pp. 94-95.

movimiento y de energía, etc.) no son aplicables unívocamente en el campo de grandezas del orden del cuanto de acción, es decir en los fenómenos de la física cuántica. Existe un límite en la aplicación de los conceptos obtenidos de la experiencia directa, límite expresado en las relaciones de indeterminación. Parecería necesario intentar dejar de lado todos los conceptos de la física clásica para referirnos a los fenómenos de la física cuántica⁹³. Sin embargo no podemos reemplazar estos conceptos para referirnos a las realidades cuánticas, como bien lo dice Heisenberg: “Todo en física, refiérase a fenómenos de la vida diaria o a acontecimientos atómicos, debe ser descrito en términos de la física clásica, con los cuales se forma el lenguaje usado para describir la organización de nuestras experiencias y para expresar sus resultados. No podemos, ni debemos reemplazar estos conceptos por otros. Sin embargo, su aplicación está restringida por las relaciones de incertidumbre. Debemos tener siempre presente esta limitación de los conceptos clásicos mientras los usamos, pero no podemos ni debemos tratar de mejorarlos”⁹⁴. Es por esto que Heisenberg afirma que “el concepto de trayectoria sólo puede utilizarse con un grado de imprecisión caracterizado por el hecho de que el producto de la indeterminación de la posición y de la indeterminación del impulso no puede ser menor que el cuanto de acción de Planck”⁹⁵.

Por todos estos problemas Heisenberg termina afirmando en 1969 que “ante todo podemos sacar provecho del progreso de la ciencia moderna de la naturaleza dándonos cuenta de la precaución con que hay que manejar el lenguaje y la significación de las palabras”⁹⁶. Para poder avanzar, la ciencia debe pasar de un lenguaje a otro, del corriente para poder comunicarse y entender los fenómenos, al matemático, para poder expresar con claridad y sin ambigüedades los mismos fenómenos. Pero este cambio constante de lenguajes es fuente de innumerables malentendidos.

Como hemos visto en el segundo apartado de esta sección, Heisenberg propone referirse a lo que está en *potencia* antes de la observación como una posibilidad o potencialidad, una tendencia del sistema cuántico, que es verdaderamente objetiva y ‘real’. Sin embargo, dice que este lenguaje en términos de *tendencia o posibilidad objetiva*: “no es un lenguaje preciso con el que se

93 Cfr. HEISENBERG, W., *Física y filosofía*, p. 40.

94 HEISENBERG, W., *Física y filosofía*, p. 30. Selvaggi encuentra la razón de esta afirmación en que “el objeto propio, formal y específico del intelecto humano, en su estado de unión al cuerpo, es la esencia o naturaleza de la realidad sensible”. Ver SELVAGGI, F., *Filosofía del mundo*, p. 99.

95 HEISENBERG, W., *Encuentros y conversaciones con Einstein*, p. 61.

96 HEISENBERG, W., *La ley de la naturaleza*, p. 5.

pudieran emplear los moldes lógicos normales; es un lenguaje que produce imágenes en nuestra mente, pero juntamente con ellas la noción de que las imágenes sólo tienen una vaga relación con la realidad, que representan solamente una tendencia hacia la realidad”⁹⁷.

Por último, Heisenberg termina afirmando que “logramos, en definitiva, entender este mundo, mientras describimos sus estructuras de orden en formas matemáticas; pero cuando queremos hablar sobre ellas, hemos de contentarnos con imágenes y comparaciones”⁹⁸, utilizando “el lenguaje de las imágenes y las parábolas”⁹⁹.

De la misma manera en que utilizaremos las ideas de Heisenberg acerca de la actualidad y la potencialidad en los sistemas cuánticos para referirnos a la doctrina de Santo Tomás de Aquino, estas últimas reflexiones acerca del lenguaje nos servirán para explicitar cómo es posible referirse a los fenómenos desconocidos mediante términos que representen lo conocido, a la manera en que Santo Tomás utiliza la analogía. Esto será tratado en la última sección de la presente obra.

97 HEISENBERG, W., *Física y filosofía*, p. 153.

98 HEISENBERG, W., *Verdad científica y verdad religiosa*, Universitas (versión en español), 1973 (XI, 1), p. 13.

99 HEISENBERG, W., *La ley de la naturaleza*, p. 7.

CAPÍTULO III

CAUSALIDAD E INDETERMINISMO EN LA NATURALEZA SEGÚN TOMÁS DE AQUINO

Después de haber analizado el problema del determinismo en la ciencia y su cuestionamiento a principios del siglo XX con la interpretación propuesta por Heisenberg a partir de la física de los fenómenos cuánticos, es preciso tornar nuestra atención hacia el problema de la contingencia en el obrar natural. Como hemos visto, la interpretación que Heisenberg hace de los fenómenos cuánticos es, sin duda, una interpretación filosófica. Sin embargo, más que explicar el porqué del indeterminismo, Heisenberg lo explicitó. Es por eso que intentaremos buscar las causas últimas de tal indeterminismo natural.

Para esto seguiremos la enseñanza de Santo Tomás de Aquino. Como hemos anticipado, nos resulta apropiado tornar nuestra atención hacia él dados los intentos de explicación de Heisenberg mediante las nociones de acto y potencia y sus continuas referencias a Aristóteles. Poca duda cabe que Santo Tomás es de los mayores seguidores y comentaristas, y dentro de este selecto grupo es sin duda el más profundo en continuar la filosofía aristotélica.

Así, veremos qué se entiende por causa, cuáles son las causas naturales, cómo obran en el mundo y también qué dice el principio de causalidad y de qué manera podemos enunciarlo, para compararlo al principio del determinismo. Por último deberemos ver y estudiar con máxima atención, y siempre siguiendo a Santo Tomás, el problema de la contingencia y el indeterminismo en el obrar de los agentes naturales.

1. LA CAUSALIDAD

Según Santo Tomás, la causalidad es cierta dependencia en el ser y en el hacerse respecto de otro, y esta es una dependencia en el aquí y en el ahora. Es decir, causa y efecto en cuanto tales existen simultáneamente. Excluimos con esto esencialmente la causalidad concebida principalmente en tanto que sucesión de fenómenos (en contra de lo que pensaban Hume y Kant). La causa es causa cuando causa, no antes ni después, y el efecto es efecto cuando

es causado, no antes ni después. Esto no quiere decir que lo que será causa no exista antes, sino que será causa en el momento que cause, en el momento en que el efecto se produzca. Entonces, podemos definir efecto como aquello que depende de otro para ser o hacerse y causa como aquello de lo que algo depende para ser o para hacerse. Ahora bien, se debe decir que con este concepto de causa no podemos buscar que todas las causas sean causas del mismo modo. Es decir, no es un concepto unívoco de causa. Es por esto que Aristóteles, a quien debemos esta concepción de la causalidad, encontró cuatro géneros de causas en la realidad. Es una noción puramente analógica. Claramente, aunque todo efecto precisa de una causa, la regularidad de la causa respecto del efecto no es esencialmente propia de la conexión entre causa y efecto. Por esto decimos que la causalidad es un accidente propio del efecto en relación a la causa, porque es el efecto el que depende esencialmente de la causa, y no la causa del efecto.

Hemos de analizar ahora el mismo nexo causal. En las proposiciones ‘A mueve a B’ y ‘B es movido por A’ encontramos dos predicados diversos sintácticamente, mas idénticos semánticamente. Con ambos predicados se significa una misma y única realidad que es un acto de los dos términos A y B: “un único y mismo movimiento real es el acto del motor en el movimiento y el acto del movido dependiente del motor”¹. Por lo tanto, la acción de la causa y la pasión del efecto no son dos realidades diversas, sino una y la misma, es un único movimiento, sólo que considerado bajo dos aspectos distintos.

Además, es necesario decir que el movimiento en cuanto tal reside en el paciente, mientras que el agente en cuanto tal no se mueve y, sin embargo, mueve. Así, el movimiento en el que consiste la acción, no reside en el agente, sino en el paciente. De este modo, la causalidad no debe ser concebida como algo propio de la causa, sino como algo que está en el efecto, es una real dependencia del efecto con respecto a la virtud y eficacia de la causa: “el efecto en cuanto efecto depende realmente de la causa, mas la causa en cuanto tal no depende del efecto”². Tampoco debe ser considerada como un intermediario entre causa y efecto, pues deberíamos tener una infinidad de intermediarios, ya que cada uno de ellos necesitaría a su vez su intermediario. La causalidad en acto es la misma producción del efecto y no algo que la preceda³. Por último, según Selvaggi, esta relación de dependencia del efecto a la

1 Cfr. SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, p. 64. Cfr. ARISTÓTELES, *Física*, III, 3. Santo Tomás, *In III Phys.*, 4 SCG, II, 57: “nam motus est idem actus moventis sicut a quo est, moti autem sicut in quo est”.

2 SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, p. 68.

3 Cfr. SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, p. 66.

causa no consiste formalmente en una mera relación predicamental, sino que es una verdadera relación trascendental, por la que el efecto en cuanto tal, en toda su entidad formal, tiene orden de origen y dependencia de la causa⁴.

Ahora bien, la causalidad asume toda su importancia filosófica en cuanto es afirmada como principio universal y necesario, que responde al ente en cuanto ente. En virtud de esta universalización, la causalidad nos permite obtener conclusiones ciertas, que trascienden el orden empírico de la percepción actual y también de la experiencia posible, para poder llegar al primer principio y explicación última de todo ser y devenir: el ser absoluto⁵.

Por esto es tan importante intentar encontrar una buena enunciación del principio causalidad. Para poder formularlo con precisión necesitaremos analizar qué naturaleza debe tener un sujeto que necesite ser causado o que deba tener necesariamente una causa.

Una formulación posible del principio de causalidad parte de la condición temporal del efecto: “lo que llega a ser (en el tiempo), tiene causa”⁶. Esta formulación es válida para todas aquellas cosas que han empezado a ser en el tiempo, ya que si algo en un momento no era y después comenzó a ser, necesariamente debe haber una causa de su ser. Sin embargo, para las cosas que no tuvieron un origen en el tiempo, no es válida, es decir, no es válida para todo ente, dado que el ente de suyo no implica un origen temporal. También podríamos intentar enunciarlo según el movimiento, es decir, según el paso de la potencia al acto, diciendo que “todo lo que pasa de la potencia al acto tiene causa”. Verdaderamente, no es posible que algo que está en potencia con respecto a un acto se actualice a sí mismo, puesto que, para darse a sí mismo el acto, primero debería tenerlo, cosa que no es así, pues está en potencia de ese acto. Así podríamos decir que “todo lo que es movido, necesariamente es movido por otro”, llegando así, según la primera vía de Santo Tomás, a un primer motor inmóvil, para que el mismo movimiento no quedase sin origen.

Sin embargo, si hubiese una cosa que se encontrara perpetuamente en acto de ser, no pasaría propiamente de la potencia al acto. Sería una potencia distinta del acto que tiene, pues dicho acto le es dado de otro, pero habría tenido

4 Cfr. SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, pp. 68-69.

5 Cfr. SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, p. 75.

6 Esta es la formulación clásica de los argumentos presentados por los teólogos islámicos del siglo IX al XII, en particular los teólogos conocidos como del Kalam. Ver MUHYI AL-DIN ALUSI, H., *The problem of creation in Islamic thought, Qur'an, Hadith, Commentaries, and Kalâm*, Doctoral Thesis, Cambridge, 1965, y FRANK, R., ‘The Structure of Created Causality according to al-Ash’ari’, in Gutas, Dimitri (ed.), *Early Islamic theology: the Mu’tazilites and al-Ash’ari*, Aldershot, Ashgate, 2007, VII, pp. 13-75.

siempre su acto de ser. Esta podría ser la condición de ciertos espíritus puros a los que Dios hubiese creado eternamente, cosa que es metafísicamente posible. Por esta razón, la enunciación del principio de causalidad según el movimiento no es universalmente válida. Pasar de la potencia al acto pide una causa, pero no explica toda la causalidad.

También podríamos intentar formularlo según la generación y corrupción de las cosas⁷. Pero se reduciría a la primera de las formas que analizamos, ya que lo que se genera, se genera en el tiempo. Pero hay cosas, fuera del tiempo, que ni se generan ni se corrompen. Cosas que no son contingentes en sentido físico. Para estas cosas no vale esta enunciación, y no queda claro cómo es que necesitan causa para ser.

La raíz última de la causalidad la encontramos en la doctrina de la participación⁸. Podemos, entonces, enunciar el principio de causalidad como “todo el que participa de un acto tiene necesariamente causa”, donde participar es ‘poseer’ algo que no se ‘es’. Tener una perfección o acto parcialmente, en cierto grado, pero no en su totalidad, es participar de él. Como el que participa no se identifica con lo participado, ni lo participado surge de su esencia, participar es ser causado por eso que no se es. El que participa es por otro (*ab alio*), y esto es ser causado. Y la causa es aquello que tiene la perfección o acto por sí mismo, no participada. El que participa tiene en sí imperfectamente lo que participa, mientras que la causa de lo participado es perfectamente lo participado.

En este punto debemos distinguir entre las perfecciones predicamentales o categoriales y las perfecciones trascendentales. Las perfecciones predicamentales llevan en su propia esencia una limitación (por ejemplo, un perro *no es* un gato). Este tipo de perfecciones no pueden tener un grado infinito. La limitación forma parte de su esencia en cuanto esencia. Además, estas perfecciones no se identifican con el ser, sino que lo tienen, es decir, lo participan, no subsisten por sí mismas. Sin su acto de ser, simplemente no serían. Por eso es que el supuesto de toda participación predicamental es la participación trascendental del ser⁹. Las cosas participan en distintos niveles de las perfeccio-

7 Tal como lo hace Platón en el *Timeo* 28a 5-7: “Todo lo que deviene, deviene necesariamente por alguna causa; es imposible, por tanto, que algo devenga sin causa”.

8 Para toda la discusión acerca de la causalidad como participación ver principalmente la obra de FABRO, C. (1961), *Participation et Causalité selon S. Thomas D'Aquin*, Publications Universitaires de Louvain, Louvain, 1961, y de GONZÁLEZ, Á. L., *Ser y Participación*, EUNSA, Navarra, 1979.

9 Ver FABRO, C., *Participation et Causalité*, p. 370 y GONZÁLEZ, Á. L., *Ser y Participación*, p. 182.

nes que tienen; esa participación supone la participación en el ser, sin el cual estas perfecciones no serían. Este ser mismo puede subsistir, existir separadamente, pues no está limitado, porque es acto de todo y potencia de nada. Entonces hay una participación de las cosas en el ser, y con ella se da la causalidad (eficiente, ante todo) necesariamente. Por lo que se puede decir que para “todo sujeto que tenga el ser sin serlo (sin identificarse con él), es decir, para todo ente, es necesario el predicado tiene causa”. Así obtenemos la máxima universalidad a la enunciación del principio de causalidad que estábamos buscando, pues se refiere a todo ente, sin excluir a ninguno, aunque fuese eternamente creado. En la participación lo participado es acto, mientras que el que participa es potencia, porque es perfeccionado por lo participado, y el participador es causa eficiente de la participación¹⁰. Y como todas las perfecciones participables están incluidas en el ser, es el ser por esencia o ser imparticipado, es decir, el ser subsistente por sí, el que puede causar todas las perfecciones al causar la participación trascendental, es decir, la participación en el ser.

La enunciación más propia y precisa del principio de causalidad, según enseña Selvaggi, debería ser entonces la siguiente: “todo aquello que está en movimiento, o comienza a ser mientras que antes no era, o es intrínsecamente compuesto o finito o múltiple, es necesariamente causado por un existente en acto”¹¹. Vemos reunidas en esta enunciación todas las posibilidades analizadas arriba. Sin embargo, creemos que se podría reducir a la característica de ser intrínsecamente compuesto aquella que indique necesidad de causa para todo ente, dejando como incausado sólo al ser simple, al ser absoluto, al ser subsistente.

2. DIVISIÓN ARISTOTÉLICA DE LAS CAUSAS: LA CAUSA EFICIENTE EN PARTICULAR

Las causas de una sustancia corpórea, que esencialmente es generable y corruptible, son cuatro, y de cuatro géneros distintos¹². Ninguno de estos géneros es reductible a las otras tres, no son cuatro especies del mismo género, sino cuatro géneros, que forman un ‘cuasi’ género gracias a aquello que tienen en común: de todas ellas depende el ser o el hacerse de algo. Las dos

10 Algo que Santo Tomás expresa en su *Comentario al Evangelio de San Juan*, 1. 2.

11 SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, p. 109.

12 Para esta distinción ver ARISTÓTELES, *Física*, II, 3. Ver también SANTO TOMÁS, *In V Met.*, 2; *In I Met.*, 8: “Materia enim est ex qua fit aliquid cum insit”; y *In I de Gen. et Corr.*, 12; *In I Phys.*, 14.

primeras causas son componentes intrínsecos de lo causado. Su modo propio de causar es componer aquello que causan, y son propiamente causas porque de ellas depende la cosa para ser o hacerse, es decir, sin ellas la cosa no podría ser o hacerse. Lo propio de estas causas intrínsecas es causar con su propia esencia, no con un acto que sigue a su esencia. Así, la materia (causa material), que es potencia pasiva, por lo cual no podría causar con un acto que siguiese de su esencia, causa recibiendo el acto de la forma, y comunicando su propio ser de materia a la forma con una unión inmediata, sin ningún acto que medie esa unión. La forma penetra en la materia y la materia, en cierto sentido, materializa la forma.

La materia es aquello *de lo que* una cosa está hecha¹³. La primer característica de esta causa es que existe en el efecto que causa, lo que quiere decir que no es algo distinto de lo causado, si no que es un principio del ser de lo causado. Si este principio material dejase de existir, la cosa causada por él dejaría, también, de existir¹⁴. La particularidad de *aquello de lo que* una cosa está hecha es que se trata de algo que puede adquirir y tener diversas formas sucesivamente. Sin embargo, no puede no tener forma alguna, pues por la forma se es esto o aquello, por la forma se es algo determinado, y lo que no es algo determinado no es nada¹⁵. La capacidad de adquirir y tener una u otra forma es lo que define a la materia, y puede cambiar de forma y adquirir otra porque no es la forma que tiene, sino que la tiene¹⁶. No comporta una forma determinada, sino que de suyo es pura potencia (capacidad de, poder de)¹⁷. Es capacidad de adquirir otra forma. Así, la causa material es un principio puramente potencial, un principio de poder ser¹⁸. La materia es la raíz del poder ser otro del ser que se es. Todo cambio o movimiento se produce entre contrarios. Mas es necesario que haya algo que pasa de un contrario a otro: la materia. Dado que aquello que cambia, la materia, puede devenir cualquiera de los contrarios, es preciso decir que aquello que cambia es en sí mismo en potencia hacia los contrarios. Si esto no fuera así, aquello que cambia no

13 ARISTÓTELES, *Física*, II, 3, 194b 24.

14 SANTO TOMÁS, *De Pot.*, 5, 1, co. El mismo argumento será usado por Santo Tomás en el caso de la forma.

15 ARISTÓTELES, *Física*, II, 3, 194b 27.

16 SANTO TOMÁS, *SCG*, III, 4: “materia enim, cum est sub una forma, est in potentia ad formam aliam et privationem formae iam habitae”; y *In IV Met.*, 12, 10: “materia, quantum est de se non determinatur ad unum, sed est in potentia ad multas formas”.

17 SANTO TOMÁS, *In I Peri Her.*, 14, 8: “materia est in potentia ad utrumque oppositorum”.

18 SANTO TOMÁS, *In I Sent.*, 3, 4, 3, ad 4: “materia est ipsa sua potentia”; y *In VII Met.*, 2, 9: “Materia enim est ens in potentia”.

podría devenir en alguno de los contrarios¹⁹. Así, la materia también es principio de ser. Es el principio por el cual el ser material es capaz de mutar en otro ser²⁰.

Es evidente que la materia por sí misma no es suficiente para explicar por qué son como son las cosas naturales. Es preciso hablar, entonces, de un segundo principio de ser en términos de la forma para poder diferenciar las cosas entre sí²¹. Dado que la materia es pura potencialidad, pura capacidad de, pura posibilidad, este segundo principio será tal que actualice esta potencialidad. Así, es por la forma que una cosa es algo determinado, y es por esto que Santo Tomás enseña que la materia no hace al ente en acto a no ser por la forma²².

Entonces, forma y materia no son dos cosas que existen actualmente. Si fuesen dos cosas existentes, sería necesario encontrar una explicación para ellas. Materia y forma, pues, se dicen co-principios por los cuales las cosas son, y se refieren entre sí como la potencia al acto²³. La forma, como recién sugerimos, tampoco se une a la materia por un acto distinto de la forma misma. La forma como forma es algo de la materia: “así como la forma es de algún modo causa de la materia en cuanto le da el ser en acto, de otro modo verdadero la materia es causa de la forma, en cuanto que la sustenta”²⁴. Así, es natural que se una a la materia, pues materia y forma separadas no podrían existir, ya que no son ente por sí mismas, sino algo por lo que un ente es²⁵. Esta es, además de la causa material, la *causa formal intrínseca*, que causa, lo mismo que la materia, componiendo el ente causado. La forma es *principio de ser*²⁶. Por ella una cosa es lo que es, es esto o aquello, y no otra cosa. Por la causa formal viene la determinación en el ser. Así, la materia y la forma causan las cosas individuales²⁷. Al causarlas de manera intrínseca, la forma

19 SANTO TOMÁS, *In XII Met.*, 2, 8: “cum in qualibet transmutatione sit quoddam tertium praeter contrarium, quod dicitur materia, necesse est, quod id quod transmutatur, sive subiectum transmutationis, quantum est de se, sit in potentia ad utrumque contrarium”.

20 Cfr. BOLZÁN, J. E., *Continuidad de la materia. Ensayo de interpretación cósmica*, EUDEBA, Buenos Aires, 1973, pp. 30, 43 y 115.

21 SANTO TOMÁS, *In VIII Met.*, 2, 2.

22 SANTO TOMÁS, *In VII Met.*, 2, 9. Cfr. también *In V Met.*, 2, 13: “forma dat esse, materia autem recipit”.

23 SANTO TOMÁS, *In V Met.*, 2, 2.

24 SANTO TOMÁS, *De Veritate*, 9, 3, ad 6.

25 SANTO TOMÁS, *De Principiis Naturae*, c. 4.

26 SANTO TOMÁS, *In V Met.*, 1, 14.

27 SANTO TOMÁS, *In II De An.*, 1, 24; *In II Sent.*, 26, 1, ad 5.

las provee también con sus poderes causales²⁸. Los comportamientos, acciones y reacciones son naturales a cualquier cosa natural precisamente porque proceden de ella misma, es decir, por su materia y su forma como sus más básicos principios constitutivos. Es por esto que se dice que la forma es el origen de las actividades de las cosas naturales. De este modo, la forma es un principio actual (mientras que la materia lo era potencial).

La causa final causa siendo el término de una tendencia de un agente que tiende hacia ella²⁹. La razón de ser de la causa final es explicar por qué el agente o causa eficiente causa: “el fin, aunque es lo último en la ejecución, es lo primero en la intención del agente. Y de este modo tiene razón de causa”³⁰. Todo fin es un bien³¹, ya que lo que conviene a cada cosa es su bien, y por esto es que la causa final causa atrayendo al agente para que obre. Ahora bien, toda tendencia natural hacia algún tipo de acción y operación es una inclinación de algún tipo hacia un fin. Dado que la forma es el principio de los poderes causales de las cosas naturales, es la misma forma la que determina el fin de cada acción³²: “la misma forma y naturaleza de las cosas es su fin”³³. Así, en aquellos entes que no tienen conocimiento racional, esta determinación es una inclinación hacia un fin³⁴.

El fin no obra, sino que obra otro para alcanzarlo. En esta perspectiva, la causa final es aquella que comienza el proceso causal, y por ello es la causa de la causalidad de las otras causas³⁵. La causa final es la causa de la causalidad de la causa eficiente porque esta actúa bajo su influencia, y al ser la

28 SANTO TOMÁS, *In De Causis*, 8: “unaquaque res operatur secundum modum formae suae quae est operationis principium, sicut calidum calefacit secundum modum sui caloris.” También *In I Sent.*, 2, 1, 2, co.: “secundum formam suam producat effectus similes”; *In III Sent.*, 18, 1, co.: “unumquodque agit ratione alicujus formae quam habet”; *In III Sent.*, 13, 1, 1, ad 5; *De Malo*, 3, 3, co.

29 ARISTÓTELES, *Física*, II, 3, 194b 33. SANTO TOMÁS, *In V Met.*, 2, 9.

30 SANTO TOMÁS, *S. Th.*, I-II, 1, 1, ad 1.

31 SANTO TOMÁS, *In IV Sent.*, 46, 1, 1B, ad 1: “bonum magis respicit rationem finis”. Cfr. *SCG*, III, 17; *S. Th.* I, 5, 2, ad 1: “Bonum autem, cum habeat rationem appetibilis, importat habitudinem causae finalis”.

32 SANTO TOMÁS, *In III Sent.*, 13, 1, 1, ad 5: “omnis forma est per se ordinata ad perficiendum”.

33 SANTO TOMÁS, *S. Th.* I-II, 49, 2, co; *De Ver.*, 21, 3, ad 3: “ipsa forma sit finis”. En este sentido se debe entender que Santo Tomás diga, en *De Pot.*, 5, 1, co., que “unde et ubi non est actio, non est causa finalis”.

34 Cfr. SANTO TOMÁS, *S. Th.* I, 80, 1, co: “formam naturalem sequitur naturalis inclinatio, quae appetitus naturalis vocatur”. Es importante resaltar que Santo Tomás afirma, en *In I Sent.*, 48, 1, 3, 6, que “in rebus naturalibus plerumque difficile sit assignare finem”.

35 SANTO TOMÁS, *In V Met.*, 3, 6: “causa causalitatis in omnibus causis” Cfr. *De Ver.*, 21, 3, ad 3; *In I Meteor.*, 2, 4; *De Ver.*, 28, 7, co.

causa de tal causalidad es la causa de la causalidad de la materia y la forma³⁶. El fin es causa en el sentido de que el agente, buscándolo, hace algo que viene a ser efecto no sólo del eficiente sino también del fin que el eficiente persigue³⁷. Si el eficiente no persiguiese ese fin, no obraría; sino no obrase, no habría efecto alguno, por lo que se ve que el hacerse del efecto depende, a través del agente, del fin. Por esto el fin es una verdadera causa, porque el ser y el hacerse de una cosa que él no es dependen de él: “el agente no mueve a no ser por la intención del fin”³⁸. Así, la causa eficiente causa procurando el fin, y así el fin se convierte en causa de la causalidad de la causa eficiente, y, a través de ella, de la causalidad de la causa formal y la causa material, porque éstas son causadas por el agente. Por esto la causa final es la causa de las causas, la primera de todas las causas, porque desencadena la causalidad de las otras causas: “Sin finalidad, es decir la tendencia a la realización de un fin, una causa no puede actuar, como sin una causa eficiente el fin no puede ser realizado. Donde hay causalidad, hay también necesariamente finalidad”³⁹.

La causa eficiente merece un tratamiento aparte por ser el analogado principal⁴⁰ dentro de las causas, y por su importancia en el estudio de la física moderna y contemporánea. La causa eficiente o agente, como la llama Aristóteles, se define como “el principio del cual fluye el movimiento”⁴¹, y ejercita su causalidad por medio de la acción. Y como el movimiento es el pasaje de la potencia al acto padecido por aquello que estaba en potencia, se puede decir que la causa eficiente es aquello que hace pasar una cosa de la potencia al acto en cualquier orden de perfección. El agente causa en cuanto

36 SANTO TOMÁS, *In V Met.*, 3, 6: “Efficiens autem est causa causalitatis et materiae et formae. Nam facit per suum motum materiam esse susceptivam formae, et formam inesse materiae. Et per consequens etiam finis est causa causalitatis et materiae et formae”.

37 SANTO TOMÁS, *De Principiis Naturae*, c. 4.

38 SANTO TOMÁS, *S. Th.*, I-II, 1, 2, co.

39 SELVAGGI, F., *Scienza e metodologia*, p. 35.

40 La causa eficiente es el primer analogado, ya que la definición de causa habla de un “alterius” al que se lo toma en toda su fuerza, como “aliud quid” sólo para la causa eficiente, y en un sentido más débil para las demás causas. Cfr. SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, pp. 58-59.

41 ARISTÓTELES, *Física*, II, 3, 194b 31. SANTO TOMÁS, *De Principiis Naturae*, c. 3, marca la importancia de notar la interdependencia de las cuatro causas: “Forma etiam non extraheret se de potentia in actum; forma enim non est nisi in facto esse: quod autem operatur est in fieri, idest dum res fit. Oportet ergo praeter materiam et formam esse aliquod principium quod agat, et hoc dicitur esse efficiens, vel movens, vel agens, vel unde est principium motus. Et quia omne quod agit, non agit nisi intendendo aliquid, oportet esse aliud quantum, id scilicet quod intenditur ab operante: et hoc dicitur finis”; y también en *In IV Sent.*, 2, 1, 1A, co.: “materia completur per formam, et forma per efficientem, et efficiens per finem.”

está en acto, pues, el agente hace pasar de la potencia al acto, y no se puede hacer pasar de la potencia al acto si no se está en acto. Además, el agente debe ser realmente distinto que aquello que causa, pues nada puede pasar de la potencia al acto por su misma potencia con respecto a lo mismo, ya que sería contradictorio. Además, todo agente obra algo semejante a sí —*omne agens agit simile sibi*⁴²— por lo que su forma será causa formal extrínseca de lo causado por él.

El acto por el que la causa agente causa es distinto del mismo agente. Es decir, el agente es distinto de su obrar, pues el agente causa con un acto distinto de su esencia. Y esto se ve porque muchas veces el agente existe (no en cuanto agente) sin estar obrando o causando. Además, nada puede obrar si previamente no existe. Si el agente no es su obrar, pero puede obrar, es porque existe un principio intermedio próximo que le permite obrar: la ‘potencia operativa’. No es esta potencia la que obra, sino la misma sustancia agente por medio de la potencia. Así, Juan, que es pintor, no pinta por existir o por ser hombre, sino por un acto que a veces realiza, que es pintar, y que es distinto de Juan⁴³.

Debemos ver ahora las distintas causas eficientes que encontramos en la naturaleza:

a) las que obran por sí mismas un efecto, y las que obran en cuanto que son movidas por otras causas eficientes anteriores. Estas últimas son las instrumentales, mientras que la otras son las principales. Las instrumentales tienen dos efectos. Aquél que se sigue de sí mismas por su propia naturaleza y el que se sigue por el movimiento que reciben de la causa principal, como por ejemplo cuando se utiliza un cuchillo para cortar un pedazo de carne de tal y cual manera. Este segundo efecto sólo es alcanzable gracias a la acción de la causa eficiente principal, pero no es posible alcanzar este segundo efecto sin el primero⁴⁴.

42 SANTO TOMÁS, *S. Th.*, I, 19, a, co.

43 Es interesante ver la cuestión que Selvaggi propone en este punto. Se pregunta si la causa eficiente creada es causa sólo del hacerse del efecto o también del ser del mismo. Parecería que es solamente causa del hacerse del efecto, sin embargo, Santo Tomás da simplemente una condición necesaria para que se verifique que la causa eficiente sea también causa del ser del efecto, es decir, no sólo del llegar a ser, sino también del permanecer en el ser. Esa condición es que causa y efecto no sean de la misma especie (*S. Th.*, I, 104, 1). Según Selvaggi esta condición es verdaderamente necesaria, mas no suficiente. No importa cuál sea la respuesta a este interrogante, la ciencia, que es lo que nos importa propiamente, sólo se ocupa de las causas del devenir y del movimiento y sólo indirectamente del ser. Cfr. SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, pp. 61-63.

44 SANTO TOMÁS, *S. Th.*, III, 62, 1, co.

b) También hay que distinguir entre las causas que obran necesariamente, en el sentido de que no pueden encontrar impedimento para efectuar su acción (*ut semper*) y aquellas que pueden fallar en la producción de su efecto o ser impedidas (*ut in pluribus*). Afirmar que toda causa eficiente obra por necesidad de naturaleza equivale a sostener el ‘determinismo universal’, que es lo que tratamos de refutar⁴⁵.

c) Por último debemos distinguir aquellas causas que no están determinadas a obrar de ninguna manera, de modo que pueden determinarse a sí mismas en su obrar, lo que sería el libre albedrío humano (*ad utrumlibet*).

El problema de la indeterminación y del azar en el obrar de los agentes naturales viene, como se puede prever, de aquellas causas eficientes que pueden fallar en su obrar o ser impedidas en la producción del efecto. Causan, según desde qué punto se las mire, *ut in pluribus* (casi siempre) o *ut in paucioribus* (pocas veces), cuando son impedidas o fallan en su obrar. A estas dedicaremos los próximos apartados.

3. CAUSALIDAD Y CONTINGENCIA EN EL OBRAR NATURAL

En el libro segundo de la Física, después de haber comparado los entes llamados naturales con aquellos artificiales, Aristóteles define lo que es la naturaleza diciendo que es la causa o principio inmediato y esencial del movimiento o quietud⁴⁶. La naturaleza, en tanto principio, debe ser entendida como principio activo y pasivo, formal y material, eficiente y final. Por lo tanto, la causa próxima del movimiento natural, también de los cuerpos inanimados, es la naturaleza de la cosa, el acto primero, que la constituye en su propia esencia y de la cual se toma su definición⁴⁷. La naturaleza, o mejor las cosas naturales no son el ser subsistente, y dado que *nemo dat quod non habet* y que *omne agens agit sibi simile*, debemos decir que la causalidad de los entes naturales no se extiende a todo el ser, sino sólo a la esfera de su propia forma de ser. Así el fuego calienta, el agua moja, etc. Este es el principio de causalidad específico de los entes naturales.

Este principio, dado que todos los entes tienen una determinada naturaleza o modo de participar el ser, y no tienen otro, se transforma en el principio de

45 SANTO TOMÁS discute estas distinciones a lo largo de toda su obra: *SCG* III, 39; *S. Th.*, I, 63, 9, co.; *In I Peri Her.*, XIV; *De Ver.*, 3, 1, co.; *De Malo*, 1, 3, 17; *In II De Cae. et Mun.*, 9; *In VI Met.*, 2; *In VI Met.*, 3; *SCG* III, 99.

46 ARISTÓTELES, *Física*, II, 1, 192b 20-23.

47 Cfr. SELVAGGI, F., *El concepto de naturaleza en Aristóteles y Santo Tomás y Causalità e indeterminismo*, pp. 117-121.

de la uniformidad de la causalidad natural. El principio de uniformidad natural afirma la necesidad de un efecto determinado y específico para cada una de las causas naturales: “La naturaleza está determinada ‘*ad unum*’, lleva consigo un apetito único que fundamente su raíz en la única forma que puede poseer el ser meramente corpóreo; única es la forma de la cual se origina la acción, único es el apetito natural y único también debe ser el efecto al cual este, por su naturaleza, está ordenado”⁴⁸. Digamos también que este principio coincide *grosso modo* con el principio del determinismo de los científicos modernos y contemporáneos. Decimos *grosso modo*, porque muchas veces se lo identifica sin más con él, cuando esto es algo inexacto.

Este principio de la naturaleza determinada a obrar de una manera y no de otra se funda en la doctrina de la forma como principio de actualidad y de actividad en los cuerpos naturales⁴⁹. El efecto se asemeja a la forma del agente. Y como todo agente natural, en cuanto obra, obra de acuerdo a la forma específica que le da el ser, y esta no puede ser más que una, el efecto no puede ser más que uno⁵⁰. Sin embargo, debemos precisar que los seres naturales no obran inmediatamente por su forma substancial, sino por las formas accidentales inherentes en el sujeto. La determinación de la actividad de un cuerpo natural no debe tomarse en un sentido tan estricto como lo hace la física clásica, sino en el sentido que a toda forma substancial o accidental le corresponde una determinada actividad proporcionada a su ser.

Ahora bien, este determinismo que encontramos en Aristóteles y Santo Tomás sólo será plenamente entendido asociándolo a la idea de finalidad. La naturaleza, al obrar, persigue un fin, tiene una tendencia intencional hacia un fin o, como Tomás lo dice muchas veces, sigue su propio apetito natural hacia un bien proporcionado: “las formas naturales siguen una inclinación, la cual se llama apetito natural”⁵¹. La tendencia hacia un fin es previa a la acción, y con esta anterioridad lógica y natural determina y específica la actividad del agente.

La regularidad observada en los fenómenos naturales no puede tener otra razón o explicación que la misma naturaleza, la esencia, las características

48 D'ARENZANO, I., *Necessità e contingenza*, p. 56. Ver también Santo Tomás, *SCG*, III, c. 85: “Ea quae naturaliter fiunt, determinatis mediis perducuntur ad finem, unde semper eodem modo contingunt; natura enim est determinata ad unum”. Cfr. *S. Th.*, I, 42, 2; I-II, 1, 5; *De Ver.*, 25, 1.

49 SANTO TOMÁS, *In De Causis*, 8: “unaquaeque res operatur secundum modum formae suae quae est operationis principium, sicut calidum calefacit secundum modum sui caloris.”

50 Cfr. SANTO TOMÁS, *SCG*, II, 30.

51 SANTO TOMÁS, *S. Th.*, I, 80, 1.

propias e intrínsecas de los entes que concurren en el fenómeno. Así, que toda naturaleza está necesariamente determinada a producir un determinado efecto lo sabemos por evidencia intelectual, la cual está fundada de algún modo en la experiencia. Sin embargo, debemos mostrar ciertas restricciones que se observan en este principio. En primer lugar, no puede ser considerado como una regla o norma concreta de investigación científica, ni como un principio del cual derivar deductivamente conocimientos particulares acerca de la naturaleza. Este principio antecede a la investigación científica y a la inducción de las leyes naturales como el fundamento ontológico que la justifica, pero de suyo permanece en la generalidad y, en un cierto sentido, en la abstracción. En segundo lugar, debe tenerse presente que la acción es determinada no sólo por la naturaleza intrínseca del agente, sino también por todas las otras causas y circunstancias que concurren en la producción del efecto. Es por este motivo, como lo veremos más adelante, que ocurren algunas cosas por azar o casualidad. Por último, debe saberse que la determinación ontológica del agente natural, aun cuando ha sido establecida conceptualmente o por iluminación intelectual de la experiencia, no debe ser necesariamente observada experimentalmente. Puede darse el caso de que la determinación sea observada con posterioridad a la acción, y no se haya podido prever determinadamente el efecto que hubiese seguido. Es decir, se debe distinguir el principio de causalidad natural de la posibilidad de previsión, requerida esta última por el determinismo de la física clásica⁵².

El principio de causalidad natural implica una tendencia natural necesaria hacia un efecto determinado, la cual implica a su vez que la realización de tal efecto se siga de modo ordinario y general en circunstancias favorables. Sin embargo, esto no exige un efecto infalible de modo que, puestas las causas ordenadas a tal efecto, éste se siga indefectiblemente. Es posible concebir una naturaleza que esté determinada a producir tal efecto, y que lo haga en la mayoría de los casos, más que también pueda, en alguna ocasión, no producirlo. Y esto no sólo por interferencia de otras causas de fuerza mayor o por la incapacidad del paciente de recibir la acción, sino por la intrínseca defectibilidad y contingencia del agente mismo. El agente obra en cuanto está en acto, por lo tanto, sólo el acto puro podrá obrar indefectiblemente. Pero los entes naturales son actos imperfectos, y de esa imperfección surge la imperfección del obrar: “en los seres para los cuales es contingente ser o no ser, también les es contingente el obrar o no obrar. Por lo tanto, tales no son u

52 Para todo este argumento ver SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, pp. 138-139.

obran necesariamente, sino que en ellos existe la naturaleza de la posibilidad, por la que pueden obrar o no obrar, ser o no ser”⁵³.

Para analizar este problema de la contingencia en el obrar natural según Tomás, será provechoso citar en extenso un pasaje en el que se refiere al tema: “Es falso que puesta la causa, aunque sea suficiente, necesariamente se siga el efecto, pues puede ser impedido, como cuando [se apaga] el fuego de un leño al echar agua. De manera similar, no es verdad que todo lo que suceda tenga una causa. Algunos eventos suceden por accidente, y lo que acontece por accidente no tiene causa, porque no es propiamente ente, como dijo Platón. Por lo tanto, que alguien cave una tumba tiene causa, y que en algún lugar haya un tesoro escondido, tiene causa. Sin embargo, que alguien quiera cavar una tumba en el lugar en el que hay un tesoro escondido, es un concurso que no tiene causa, pues es por accidente”⁵⁴.

Evidentemente lo que Tomás está rechazando es el determinismo ontológico estudiado en la primer parte de nuestro trabajo, aceptando como cosa dada por la experiencia y exigible también por la razón que hay cosas que se dan sin causa, y esas son las consideradas accidentales. En el obrar de los agentes naturales encontramos fenómenos que ocurren siempre, es decir, que estaban determinados en sus causas *ex necessitate*, y se dice que ocurren *ut semper*. Otros ocurren contingentemente, y en estos encontramos aquellos que ocurren la mayoría de las veces, es decir que están determinados en sus causas, pero que éstas pueden desfallecer, por lo que se dice que acontecen *ut in pluribus*. Otros que ocurren pocas veces, a saber aquellos efectos que no estaban determinados en sus causas, sino que surgen del desfallecimiento de éstas, y se dicen que ocurren *ut in paucioribus*. Por último, aquellos que no están determinados en absoluto en su causa, son determinados *ad utrumlibet*, y son los propios de la voluntad de los entes espirituales⁵⁵.

53 SANTO TOMÁS, *In Peri Herm.*, I, XIV, 181.

54 SANTO TOMÁS, *De Malo*, 16, 7, 14.

55 Cfr. SANTO TOMÁS, *In Peri Herm.*, I, XIV, 172: “quaedam enim contingent ut in paucioribus, quae accident a casu vel fortuna. Quaedam vero se habent ad utrumlibet, quia scilicet non magis se haben’t ad unam partem, quam ad aliam, et ista procedunt ex electione. Quaedam vero eveniunt ut in pluribus, sicut hominem canescere in senectute, quod causatur ex natura”. En todos estos casos (*ut semper*, *ut in pluribus*, *ut in paucioribus* y *ad utrumlibet*), Tomás siempre habla de causas segundas naturales, que obran por su propia virtud, sin confundirlas con el obrar de la causa primera, ni con su virtud. Por esto es que no se confunde contingencia en el obrar con milagro, ni casualidad, fortuna o efecto indeterminado con una intervención divina directa sobre la causa. Ver SANTO TOMÁS, *De Malo*, 16, 7, 15: “voluntas divina est universaliter causa entis, et universaliter omnium quae consequuntur modum necessitatis et contingentiae. Ipsa autem est supra ordinem necessari et contingentis, sicut est supra totum esse

Los acontecimientos que ocurren *ut semper* son, para Santo Tomás y Aristóteles, aquellos que ocurren en los cielos, propios de los cuerpos celestes. Para Aristóteles y Tomás, los cuerpos celestes no pueden desfallecer en su obrar, pues su forma actualiza toda la potencialidad de la materia, sin dejar ninguna potencia hacia otra forma distinta⁵⁶. No tiene caso adentrarnos en esta parte caduca de la doctrina tomista del obrar natural. Los acontecimientos que ocurren *ut in pluribus* —que también llamados *ut frequenter*— se refieren, según Aristóteles y Tomás, al obrar de los agentes naturales sublunares⁵⁷. Hoy podemos extenderlo a todos los entes naturales, sin tener en cuenta esta distinción. En estos acontecimientos, contingentes por sí, tiene lugar un determinismo un poco mitigado, pues el agente puede no producir el efecto esperado. Con esta mitigación, no se está yendo en una dirección absolutamente indeterminista, sino que se mantiene un fundamental determinismo en la naturaleza, pero no tan rígido, dado que, por algún impedimento, puede no ocurrir lo que se esperaba, como muchas veces se ve.

El desfallecer en el obrar de los agentes naturales, puede ocurrir por tres razones: 1) por el concurso de dos causas (*propter concursum duarum causarum*), 2) por el defecto del poder causal del agente (*propter defectum virtutis agentis*), 3) por la indisposición de la materia del paciente (*propter materiae indispositionem*). Y cuando esto ocurre, encontramos los acontecimientos que se dice ocurren *ut in paucioribus*, a los cuales dedicaremos el resto del apartado para intentar entender por qué ocurren y cuál es su naturaleza. Con respecto al conocimiento del futuro, evidentemente, dado que todavía no tiene existencia propia, no puede ser conocido en sí mismo, sino que debe ser conocido en sus causas. Si es un acontecimiento que ocurrirá *ut semper* tendremos certeza en nuestro conocimiento. Si ocurrirá *ut in pluribus*

creatum. Et ideo necessitas et contingentia in rebus distinguuntur non per habitudinem ad voluntatem divinam, quae est causa communis, sed per comparisonem ad causas creatas, quas proportionaliter divina voluntas ad effectus ordinavit; ut scilicet necessariorum effectuum sint causae intransmutabiles, contingentium autem transmutabiles”. Además, Dios crea los agentes contingentes para que obren contingentemente. Cfr. SANTO TOMÁS, *In Peri Herm.*, I, XIV, 197: “ex ipsa voluntate divina originantur necessitas et contingentia in rebus et distinctio utriusque secundum rationem proximarum causarum: ad effectus enim, quos voluit necessarios esse, disposuit causas necessarias; ad effectus autem, quos voluit esse contingentes, ordinavit causas contingenter agentes, idest potentes deficere. Et secundum harum conditionem causarum, effectus dicuntur vel necessarii vel contingentes, quamvis omnes dependant a voluntate divina, sicut a prima causa, quae transcendit ordinem necessitatis et contingentiae”.

56 SANTO TOMÁS, *S. Th.*, I, 84, 3, 1: “materia coelestium corporum est totaliter completa per formam, ita quod non est ei potentia ad aliam formam”. Cfr. *SCG*, II, 30.

57 QUEVEDO, A., *Ens per accidens. Contingencia y determinación en Aristóteles*, EUNSA, Pamplona, 1989, p. 390.

tendremos un conocimiento conjetural, con mayor o menor probabilidad. Ahora bien, si está determinado *ad utrumlibet* no podremos tener ningún tipo de conjetura o certeza al respecto⁵⁸. Pasemos, pues, a analizar los acontecimientos que ocurren *ut in paucioribus*, su naturaleza y sus causas, que son aquellos que nos competen dada la naturaleza de nuestro estudio.

4. ACONTECIMIENTOS QUE OCURREN UT IN PAUCIORIBUS

Estos acontecimientos tienen, según la enumeración más completa de Santo Tomás, tres causas: el concurso causal, la debilidad del agente y la indisposición de la materia que recibe la acción. Encontramos esta doctrina expresada sobre todo en dos textos de la obra de Tomás, en la *Contra Gentiles*⁵⁹ y en el *Comentario a la Metafísica*⁶⁰.

58 SANTO TOMÁS, *In I Peri Herm.*, XIV, 194: “futura autem non cognoscit in seipsis, quia nondum sunt, sed cognoscere ea potest in causis suis: per certitudinem quidem, si totaliter in causis suis sint determinata, ut ex quibus de necessitate evenient; per coniecturam autem, si non sint sic determinata quin impediri possint, sicut quae sunt ut in pluribus; nullo autem modo, si in suis causis sunt omnino in potentia non magis determinata ad unum quam ad aliud, sicut quae sunt ad utrumlibet”. Cfr. SANTO TOMÁS, *De Malo*, 16, 7, co. Esto no quita que Dios, desde la eternidad, en la cual está todo simultáneamente, pueda tener un conocimiento perfecto de presente, pasado y futuro. Cfr. SANTO TOMÁS, Santo Tomás, *In Peri Herm.*, I, XIV, 195-196: “Sed Deus est omnino extra ordinem temporis, quasi in arce aeternitatis constitutus, quae est tota simul, cui subiacet totus temporis decursus secundum unum et simplicem eius intuitum; et ideo uno intuitu videt omnia quae aguntur secundum temporis decursum, et unumquodque secundum quod est in seipso existens, non quasi sibi futurum quantum ad eius intuitum prout est in solo ordine suarum causarum (quamvis et ipsum ordinem causarum videat), sed omnino aeternaliter sic videt unumquodque eorum quae sunt in quocumque tempore, sicut oculus humanus videt Socratem sedere in seipso, non in causa sua. Ex hoc autem quod homo videt Socratem sedere, non tollitur eius contingentia quae respicit ordinem causae ad effectum; tamen certissime et infallibiliter videt oculus hominis Socratem sedere dum sedet, quia unumquodque prout est in seipso iam determinatum est. Sic igitur relinquitur, quod deus certissime et infallibiliter cognoscat omnia quae fiunt in tempore; et tamen ea quae in tempore eveniunt non sunt vel fiunt ex necessitate, sed contingenter”.

59 SANTO TOMÁS, *SCG*, III, 99: “multae enim naturalium causarum effectus suos producunt eodem modo ut frequenter, non autem ut semper; nam quandoque, licet ut in paucioribus, aliter accidit, vel propter defectum virtutis agentis, vel propter materiae indispositionem, vel propter aliquod fortius agens”.

60 SANTO TOMÁS, *In VI Metaph.*, 3: “Si igitur ea quae hic sunt contingentia, reducamus in causas proximas particulares tantum, inveniuntur multa fieri per accidens, tum propter concursum duarum causarum, quarum una sub altera non continetur, sicut cum praeter intentionem occurrunt mihi latrones. (hic enim concursus causatur ex duplici virtute motiva, scilicet mea et latronum) tum etiam propter defectum agentis, cui accidit debilitas, ut non possit pervenire ad finem intentum; sicut cum aliquis cadit in via propter lassitudinem. Tum etiam propter indispositionem materiae, quae non recipit formam intentam ab agente, sed alterius modi sicut accidit in monstruosis partibus animalium”.

La razón última de que existan estas tres posibilidades de que un efecto no sea el que previamente parecía estar determinado en su causa viene dada siempre, como puede esperarse del análisis causal de Santo Tomás, por el principio material intrínseco de la composición hilemórfica de los entes naturales⁶¹: “Para Santo Tomás la cuestión no se dirime en términos meramente extrínsecos, como el puro hecho de darse siempre o no darse nunca, o el de no poder ser o dejar de ser impedido, sino, valga subrayarlo, *conforme a la naturaleza intrínseca de las cosas*. En resumen, la posibilidad del impedimento como hecho extrínseco reclama su fundamento en el orden intrínseco”⁶².

4.1. *Propter concursum duarum causarum*

La primera de las razones por las cuales ocurren cosas que no estaban previstas en sus causas es el concurso causal de series de causas independientes. El encuentro de las series causales en un punto y en un momento dado no puede ser reducido a una causa *per se*, sino que debe ser considerado como un evento casual y puramente accidental, propiamente, sin causa, o con causa accidental.

Santo Tomás, al hablar de los acontecimientos que ocurren casualmente, identifica el concurso fortuito de muchas causas independientes que dan origen al hecho casual con el *ens per accidens*⁶³. El *ens per accidens* no puede ser llamado propiamente ente por sí mismo⁶⁴. El *ens per se* solamente se da donde se encuentra la unidad formal: “lo que es ente accidentalmente no tiene causa porque no es verdaderamente ente, puesto que no es verdaderamente uno”⁶⁵. Siendo la causa *per accidens* infinita e indeterminada, la causa del hecho casual, que es *per accidens*, carece de unidad formal, y por lo tanto no es verdaderamente ente⁶⁶. Además, por carecer de unidad formal, es imposible de conocer y prever todas las causas que influyen en este o aquel hecho: “Todo aquello que es *per se* tiene una causa necesaria. Luego, si alguna causa no resulta necesaria en virtud de un impedimento, aquello que se origine bajo tal circunstancia no será un *ens per se*, sino *per accidens*, ya que propiamente

61 QUEVEDO, A., *Ens per accidens*, p. 405.

62 BELTRÁN, O., *La doctrina de la contingencia en la naturaleza según los comentarios del Card. Cayetano y S. Ferrara*, Studium 2003 (11, VI, XI), pp. 41-75, p. 51. La cursiva es mía.

63 Cfr. SANTO TOMÁS, *SCG*, III, 74.

64 Cfr. SANTO TOMÁS, *S. Th.*, I, 116, 1, co.

65 SANTO TOMÁS, *S. Th.*, I, 115, 6, co.

66 QUEVEDO, A., *Ens per accidens*, p. 216.

no tiene causa, o la tiene como algo extraño a él⁶⁷. Entonces, habida cuenta de la proporcionalidad entre el ser y sus causas, se dice que la causa relativa al ser *per accidens* es una causa *per accidens*⁶⁸.

El concurso de muchas causas tampoco puede ser explicado por otros principios naturales porque “lo que es accidentalmente, no es propiamente ente, ni tampoco uno; por lo que es imposible que aquello que es accidentalmente sea efecto *per se* de algún principio que sea agente natural⁶⁹. El mismo concurso causal, en cuanto es accidental, no tiene una causa natural determinada⁷⁰ y es por esto que no es posible conocer todo el conjunto causal y con ello, imposible también, predecir lo que de él se seguirá.

La pluralidad de causas es indefinida, es como la *possibilitas materiae*⁷¹, y desde el momento en que se introduce una determinación (una orientación), no hay más pluralidad, no hay más indeterminación. La serie causal no es determinada, ni su encuentro es lo que causan el efecto en tanto que efecto casual, sino que el mismo concurso causal es el casual. Así, el concurso de dos o más causas no es causa de lo casual. Él mismo efecto. Este concurso, así entendido, es accidental porque no tiene causa determinada⁷²: “Las razones por las cuales se distingue la causa ‘per se’ de la causa ‘per accidens’ no se atienen a una perspectiva caduca de los fenómenos mundanos, sino a una intuición metafísica incommovible, capaz de reconocer a la vez un orden de sustancias que es a la vez abierto y vulnerable porque es imperfecto. Aun cuando parezca un juego de palabras, es necesario que haya causas no necesarias, y más exactamente, que haya causas accidentales como expresión de la finitud y la condición participada del dinamismo natural⁷³.”

4.2. *Propter debilitatem agentis*

67 “Entia enim per se talem causam habent, qua posita, de necessitate sequitur effectus. Et si aliqua causa sit ad quam non de necessitate sequitur effectus, sed ut in pluribus, hoc est propter impedimentum, quod per accidens contingit.” *In XI Metaph.*, 8, 13. “Non omne quod fit habet causam, sed solum illud quod est per se. Sed illud quod est per accidens non habet causam; quia proprie non est ens, sed magis ordinatur cum non ente, ut etiam Plato dixit. Unde esse musicum habet causam, et similiter esse album; sed hoc quod est, album esse musicum, non habet causam: et idem est in omnibus aliis huiusmodi.” *In I Periherm.*, XIV, 11. Cfr. además *In V Metaph.*, 22, 21-23, y *SCG*, III, 86. BELTRÁN, O., *La doctrina de la contingencia*, p. 54.

68 BELTRÁN, O., *La doctrina de la contingencia*, p. 54.

69 SANTO TOMÁS, *S. Th.*, I, 116, 1, co.

70 Cfr. D’ARENZANO, I., *Necessità e contingenza*, pp. 41-42.

71 Cfr. QUEVEDO, A., *Ens per accidens*, p. 263.

72 Cfr. KONINCK, CH. DE, *Réflexions sur le problème de l’indéterminisme*, p. 248.

73 BELTRÁN, O., *La doctrina de la contingencia*, p. 55.

El análisis metafísico de la contingencia y del devenir continuo de los agentes naturales muestra la necesidad de admitir en el ser material una intrínseca y esencial composición de dos principios realmente distintos: un principio de ser y de actualidad, de perfección, determinación, que lo constituye en su esencia específica y, por consiguiente, determina la naturaleza y el modo de su obrar; y un principio de potencialidad, es decir, de capacidad puramente pasiva de ser, el cual por sí mismo es puramente indeterminado, indiferente al ser o al no ser, al ser en este modo o en aquel, y consecuentemente, a obrar de tal manera o de aquella. Estos dos principios se diferencian realmente en los entes naturales, mas no son dos cosas distintas, sino que son dos co-principios complementarios de la estructura metafísica de los entes. Claramente se ve que ésta doctrina de la que estamos hablando es la doctrina hilemórfica de Aristóteles, en la cual, como vimos más arriba, el principio de actualidad es llamado la forma substancial, mientras que el principio de potencialidad e indeterminación es la materia prima⁷⁴.

Esta composición hace que los agentes naturales no sean plenamente acto, pura determinación, sino que sean un mixto de actualidad y potencialidad, de determinación y de indeterminación. Así, el origen y principio de la defectibilidad del obrar de los agentes naturales se encuentra en la fundamental potencialidad e indeterminación de la materia. Tomás enseña que “la razón de posibilidad y contingencia en algunos seres es que la materia está en potencia de los opuestos”⁷⁵. D’Arenzano lo dice de la siguiente manera: “Santo Tomás admite como fuente de indeterminación, en los seres corpóreos, la ‘debilitas agentis’, en razón del principio pasivo que, como potencia hacia los contrarios y causa de contingencia, todo ser natural sublunar (es decir el ser meramente material) posee: la materia prima”⁷⁶.

La potencia activa de los agentes naturales a veces desfallece en su obrar por falta de energía interna (= *impedimentum ex parte agentis*): la potencia, la materia prima, que representa en el compuesto material la potencia pasiva, crea en el ente la posibilidad de poder ‘fugarse’ del dominio de la potencia activa que determina⁷⁷.

4.3. *Propter indispositionem materiae*

74 Cfr. SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, pp. 149-150.

75 SANTO TOMÁS, *In Peri Herm.*, I, XIV, 183.

76 D’ARENZANO, I., *Necessità e contingenza*, p. 46.

77 Cfr. D’ARENZANO, I., *Necessità e contingenza*, p. 46.

Esta es una razón no intrínseca al mismo agente de que el efecto que se produzca no sea el que estaba determinado por la naturaleza del agente mismo. Es, al contrario, intrínseca al que recibe la acción del agente. Pues aunque el agente obrase de manera precisa y sin ningún tipo de impedimento para causar su efecto determinado, todavía queda la posibilidad de que ese efecto no se realice tal cual estaba previsto por parte de quien recibe esa acción y en quien se debe efectuar esa acción.

Esta posibilidad de defectibilidad en la producción del efecto viene dada por la materia del ente que recibe la acción, que, en cuanto es material, también está compuesto por un principio activo, la forma substancial, y por un principio pasivo, de indeterminación, la materia prima: “En efecto, la forma determinada del cuerpo material no domina perfectamente la materia que tiene debajo de sí: así, queda la posibilidad que la materia, en cuanto se escapa por completo del dominio de la forma, se constituya ella misma, parcialmente, en causa independiente, convirtiendo de tal modo en imprevisible la reacción exacta que deberá tener la acción del agente externo”⁷⁸.

Dejamos claro ahora que, como la materia siempre juega un papel en todo obrar natural, papel de causa deficiente, no eficiente, existe la posibilidad de que el efecto al que estaba determinado el agente por su forma, no pueda ser perfectamente efectuado, sino que ocurran efectos no esperados⁷⁹. En el compuesto material, independientemente de la perfección de la forma, queda siempre un margen de indeterminación que lo excede, margen que es debido a la materia prima que puede hacer surgir un efecto que no era de ninguna manera predeterminado necesariamente en la naturaleza misma: “las cosas inferiores son flexibles y no siempre se obtienen del mismo modo: según la materia, la que está en potencia de múltiples formas; y según la contrariedad de las formas y las virtudes”⁸⁰.

Ahora bien, este efecto que no está totalmente determinado en su causa, puede no realizarse por una cualquiera de las tres causas arriba mencionadas y explicadas, o por dos de ellas o por las tres a la vez. Así, el concurso de causas puede venir acompañado por la debilidad del agente o por la indisposición de la materia que recibe la acción⁸¹.

78 D'ARENZANO, I., *Necessità e contingenza*, p. 47.

79 Cfr. SANTO TOMÁS, *In Peri Herm.*, I, XIV.

80 SANTO TOMÁS, *SCG*, III, 86.

81 Cfr. D'ARENZANO, I., *Necessità e contingenza*, p. 48. Cfr. Comm. Caietani, in *S. Th.*, I, 115, 6: “Ratio contingentiae potest dupliciter assignari: uno modo, ex parte complementi; alio modo, ex parte radicis. Radix quidem huiusmodi contingentiae est natura potentiae inventa in

En resumen, “la causa material, en cuanto es intrínseca y necesaria a la naturaleza de las sustancias físicas, se plantea como un factor potencial e indeterminado, que no puede ser asimilado de ninguna manera al orden de las causas en acto”⁸². Por lo tanto, debemos decir que “el obrar de los cuerpos, en razón del principio activo intrínseco de operación, debe ser, como principio metafísico, determinado ‘*ad unum*’ y, al mismo tiempo, mas bajo un aspecto diferente, puede gozar de una cierta indeterminación”⁸³.

Stephen Brock⁸⁴ ha querido argumentar que esta interpretación de la doctrina tomista del indeterminismo en la naturaleza, que sigue las enseñanzas de Selvaggi, DeKonninck y D’Arenzano, no es correcta. Ciertamente, señala, parece ser una ruta prometedora de resultados positivos para una buena apreciación de esta temática. Sin embargo encuentra que no es posible interpretar los escritos de Santo Tomás de esta manera. Brock entiende que, según Santo Tomás, todo impedimento ha de ser extrínseco a la causa⁸⁵. No obstante, la sugerencia de Beltrán de que el problema de la indeterminación en la naturaleza se debe resolver en términos de principios y causas intrínsecos de los seres naturales (es decir, de los co-principios material y formal), y no meramente en términos de causas extrínsecas en competencia⁸⁶ nos parece más acorde al a la letra y al espíritu de los escritos de Santo Tomás.

5. INDETERMINACIÓN Y GRADOS DE SER

Al hablar Santo Tomás de la distinción de las sustancias separadas y de la posibilidad de la multiplicidad de ellas, introduce la doctrina según la cual se encuentran diversos grados de ser en los entes creados, yendo desde la inteligencia separada más cercana al mismo Ser subsistente, hasta las formas de los elementos, es decir, desde el ente más cercano al Acto puro, hasta los entes más lejanos a él: “Hay por lo tanto una distinción entre ellos [los inte-

naturalibus, qua et possunt deficere in minori parte, et sunt in potentia contradictoris (...) Complementum vero contingentiae est concursus accidentalis causarum, sive activae et passivae, sive activarum inter se, etc. Et propterea non opposita dixit, sed utrumque assignavit in diversis locis divus Thomas”.

82 BELTRÁN, O., *La doctrina de la contingencia*, p. 66.

83 D’ARENZANO, I., *Necessità e contingenza*, p. 58.

84 BROCK, S., *Causality and Necessity in Thomas Aquinas*, Quaestio, 2002 (2), pp. 217-240.

85 BROCK, S., *Causality and Necessity*, p. 235.

86 BELTRÁN, O., *La doctrina de la contingencia*. QUEVEDO, A., *Ens per accidens*, p. 405, analizando la doctrina de Aristóteles, concluye de manera similar: “la posibilidad de ser impedido es algo extrínseco y accidental que se sigue de la necesidad o de la no-necesidad intrínseca y esencial”.

lectos] según el grado de potencia y de acto, así que la inteligencia superior, que es más cercana al primer [intelecto], tiene más de acto y menos de potencia, y lo mismo para los otros. Y esto se completa en el alma humana, la cual tiene el último grado dentro de las substancias intelectuales. De donde el intelecto posible se relaciona con las formas inteligibles como la materia prima, la que tiene el último grado en el ser sensible, a las formas sensibles. (...) Y así, después de esta forma, que es el alma, se encuentran otras formas que tienen más de potencia y están más cercanas a la materia en cuanto que su ser no puede ser sin la materia. En estas también se encuentra un orden y un grado hasta las primeras formas de los elementos, que son las más cercanas a la materia”⁸⁷.

En esta escala gradual de los seres, que va desde el mismo Dios, Acto puro, hasta la materia prima, que es pura potencia, encontramos diversos seres que tienen mezcla de acto y de potencia, que tienen mayor actualidad mientras más cercanos están al Acto puro, y menos actualidad, cuanto más se alejan. La menor de las actualidades se encuentra en las formas de los elementos, que son los más cercanos a la materia prima, pura potencia. La mayor o menor actualidad viene dada por la intensidad del ser participado, recibido por la esencia, que toma el papel de potencia. Aquellas esencias más cercanas a la materia son aquellas que tienen menos actualidad, y con ello, son las más potenciales. Mientras más alejadas de la actualidad pura, más defectibilidad tendrán en su obrar⁸⁸. Es decir, a mayor actualidad, mayor determinación en el ser y en el obrar, y a menor actualidad, mayor indeterminación en el ser y en el obrar.

Debemos ahora distinguir dos especies de indeterminación radicalmente diferentes. Por un lado tenemos la indeterminación que viene dada por la perfección de ser, la libertad, y ésta es llamada indeterminación positiva o activa⁸⁹. La actualidad pura de Dios lleva una determinación absoluta, que es la raíz de una indeterminación positiva que es esencialmente perfección. Esta indeterminación activa “se funda sobre la plenitud del acto, en cuanto el acto es una capacidad de por sí ilimitada de participar a otros la propia perfec-

87 SANTO TOMÁS, *De ente et essentia*, IV.

88 SANTO TOMÁS, *In I Sententiarum*, 39, 2, 2, 4: “In naturalibus invenitur triplex gradus; aliquid enim est quod habet esse tantum in actu; et huic nullus defectus essendi advenire potest: aliquid autem est quod est tantum in potentia, sicut materia prima; et hoc semper habet defectum, nisi removeatur per aliquod agens reducens eam in actum: est etiam aliquid quod habet actum admixtum privationi; et hoc propter actum dirigentem in opere recte operatur ut in majori parte, deficit autem in minori, sicut patet in natura generabilium et corruptibilium”.

89 KONINCK, CH. DE, *Réflexions sur le problème de l'indéterminisme*, p. 237.

ción”⁹⁰. En la medida en que los seres finitos participan de la determinación de su esencia, con ella participan también de la indeterminación positiva por perfección. Así, la determinación esencial de los ángeles superiores es la raíz de una inteligencia superior y de una libertad superior. A medida que la inteligencia de los ángeles va decreciendo, con ella decrece también su libertad en perfección, es decir, su indeterminación positiva.

Dado que puede haber conocimiento sin inteligencia (en los animales), puede haber indeterminación positiva sin libertad. Las plantas y los animales participan de esta indeterminación positiva en su espontaneidad, y en esta medida su comportamiento es imprevisible: “en la medida que los seres finitos participan de la actualidad del Acto puro, participan también de la indeterminación activa o libertad de acción, la cual es máxima en el espíritu puro, en las inteligencias subsistentes, que al tiempo que se afirma la potencialidad en el orden del ser en cuanto tal, son pura potencialidad en el orden de la esencia: formas subsistentes sin materia. Es menor en el espíritu encarnado, que afirma la potencialidad también en el orden de la esencia, en cuanto su esencia resulta compuesta de materia y forma, cuerpo y alma, forma que, si depende de la materia en su individuación, permanece independiente en el ser y, al menos en parte, en su operación. Aún menor será en el viviente sensitivo, que dependiendo en el ser y en su obrar de la materia, participa también de una cierta inmaterialidad por razón del conocimiento. Mínima será en el viviente puramente vegetativo, cuya forma o actualidad aún no es totalmente inmersa en la materia, en cuanto es principio de operación inmanente, por lo que su indeterminación activa se traducirá en la espontaneidad propia de todo viviente.

Mas aún, cierta indeterminación activa no puede ser negada nisiquiera al ínfimo grado de la participación del ser, el cuerpo inanimado, en cuanto en él la naturaleza es también principio de actualidad, de movimiento y acción, que es activamente indeterminada respecto al *hic et nunc*, y mientras permanece en el ser, puede siempre obrar, puede siempre repetir indefinidamente sus movimientos naturales, puede siempre comunicar a cualquier cuerpo su perfección, mientras encuentre una materia capaz de recibirla. Sin embargo, esta indeterminación activa del agente material es una indeterminación puramente extrínseca (...) es entonces una indeterminación puramente individual y no específica. (...) El indeterminismo activo material es esencialmente limitado al determinismo natural”⁹¹.

90 SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, p 151.

91 SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, p 151.

Existe, por tanto, una relación constante, podríamos decir directamente proporcional, entre la determinación de la esencia de un ser y su indeterminación positiva. En los seres finitos superiores, ésta es la raíz de la imposibilidad de prever sus actos, es la raíz de la contingencia en su obrar, pues, en cierta manera, pueden autodeterminarse. Pero en todo ser finito se encuentra también otra especie de indeterminación. Una indeterminación de carácter negativo o pasivo, que es esencialmente imperfección. Hay en lo finito una posibilidad de ser o no ser. La esencia existente no puede ser, y no es, su propia determinación existencial, no es su acto de ser. Lo contingente es necesario una vez que es, pero no procede de él mismo esta necesidad de ser. Todo ente contingente es en la medida que su ser le es dado, le es participado. Esta indeterminación pasiva está totalmente excluida del Acto puro, pues proviene de la potencialidad, que no encontramos en Él.

Las esencias, en la medida que se alejan del Ser subsistente, van siendo cada vez menos determinadas, por ser cada vez más potenciales, y con ello, van teniendo cada vez más indeterminación negativa, que es la que viene por la potencia, que es imperfección: “Una forma natural es determinada ‘*ad unum*’ dentro de la medida de su perfección, dentro de la medida en la que responde al apetito que es la materia”⁹².

Por otro lado, la indeterminación pasiva o negativa “asumirá proporciones siempre mayores hacia el fin de la escala [del ser], hacia el nivel de los elementos primordiales de la materia, y podrá llegar a un nivel en el que será directamente observable en la experiencia”⁹³. Dado que la causa material es la raíz última de esta indeterminación y que esto se debe a que ella es potencialidad, *pura arrazionalità*⁹⁴, la indeterminación pasiva no podrá ser precisada por vía meramente racional, es decir, no se podrá prever lo que vendrá, sino que deberá ser revelada experimentalmente como un dato de hecho⁹⁵. Mas la materia tan sólo es raíz de contingencia si hay en el ser un defecto de determinación incluso de la forma, es decir, si hay un defecto de ser, una falta de ser, no de un ser que le es debido, sino una falta de intensidad de ser con respecto a otros seres, por su ubicación en la escala de los seres.

Además, estando los seres graduados según sus formas, habrá también una graduación en la determinación de su obrar. Los efectos estarán cada vez menos determinados en sus causas. Las causas determinarán sus efectos en la

92 KONINCK, CH. DE, *Réflexions sur le problème de l'indéterminisme*, p. 236.

93 SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, p 153.

94 SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, p 153.

95 Cfr. SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, p 153.

medida de la perfección de su determinación formal: “Si los seres naturales pertenecen a una jerarquía según los grados de determinación de la forma, constituirán una jerarquía de naturalezas. Habrá una gradación dentro del orden de la actividad: los efectos no serán legalmente determinados en sus causas, si no más bien dentro de la medida de la perfección de la naturaleza. (...) Teniendo en cuenta la importante distinción entre la indeterminación por defecto de ser y la indeterminación por adición, parece que en una naturaleza superior el efecto será más seguro según su causa, y que la emanación será al mismo tiempo menos necesaria, sea a causa de la espontaneidad, sea por razón de la libertad”⁹⁶.

Tomando el punto de vista de la indeterminación negativa, todo efecto puede ser incierto. Cada efecto futuro comporta algo de incierto, de contingente, de indeterminado. Decir lo contrario sería olvidar la materia como principio potencial, de donde proviene la indeterminación pasiva o negativa, la imperfección, que es la causa de la incertidumbre acerca del futuro: “Las realidades contingentes lo son por parte de la materia, ya que contingente es lo que puede ser y no ser, y la potencia está en la materia. En cambio, la necesidad está en el concepto mismo de forma, por cuanto lo que es consecuencia de la forma se posee necesariamente”⁹⁷.

Mucho se ha abusado del principio *natura determinata est ad unum*, y se ha entendido con él a la naturaleza de modo unívoco, teniendo una idea demasiado homogénea de la misma, como si toda naturaleza fuese igualmente naturaleza⁹⁸. Es preciso, con estas aclaraciones acerca de los grados de ser, tomar a la idea de naturaleza como un concepto análogo, ya que, según el grado de perfección del ser, la naturaleza tendrá más o menos determinación, en su ser y en su obrar, indeterminación que podrá ser positiva o negativa.

Encontramos, por tanto, una tensión en el interior mismo de la determinación de la naturaleza, en la medida en que ésta no puede estar enteramente determinada ‘*ad unum*’. La ausencia de necesidad en la forma entraña ausencia de necesidad en los efectos. Y si cada naturaleza tomada individualmente comporta siempre una cierta indeterminación, “¿cómo podría el conjunto de todas las naturalezas compensar totalmente este defecto?”⁹⁹, dado que “de muchos contingentes no se puede hacer algo uno necesario: porque,

96 KONINCK, CH. DE, *Réflexions sur le problème de l'indéterminisme*, p. 237.

97 SANTO TOMÁS, *S. Th.*, I, 86, 3, co.

98 Un claro ejemplo es la discusión de principios del siglo XX acerca de la dualidad onda-corpusculo de las partículas subatómicas, que se resolvió con el principio de complementariedad.

99 KONINCK, CH. DE, *Réflexions sur le problème de l'indéterminisme*, p. 239.

así como cualquier contingente puede desfallecer en su efecto, lo mismo sucede con el todo”¹⁰⁰.

100 SANTO TOMÁS, *SCG*, III, 86.

CAPÍTULO IV

INTERPRETACIÓN FILOSÓFICA DE LA MECÁNICA CUÁNTICA: A MODO DE CONCLUSIÓN

Habiendo estudiado los problemas que plantea la nueva física cuántica desde la perspectiva de Werner Heisenberg y su propuesta de interpretación indeterminista, y, a su vez, los textos de Tomás de Aquino analizado el problema de la contingencia en el obrar en la naturaleza, es preciso ahora realizar una síntesis abarcadora de todos los temas tratados. Abordaré, entonces, la tarea de proponer una nueva lectura de la interpretación filosófica de la física cuántica tal como es propuesta por Werner Heisenberg. Nuestra interpretación, claramente, vendrá de la mano de la filosofía natural de Tomás de Aquino, con su doctrina de la estructura hilemórfica de los entes naturales y los grados de ser de la realidad, que fundan el concepto analógico del ente.

Dado que la ciencia no puede acabar todo el contenido de inteligibilidad que presenta lo real, resulta preciso hacer este tipo de análisis. La ciencia no puede, por sí sola, actualizar todo lo que virtualmente se encuentra en su objeto de conocimiento: esto le compete, aunque tampoco plenamente, al pensamiento filosófico, que, al llevar a cabo esta tarea, muestra su necesaria complementariedad con el pensamiento científico¹: “La ciencia, siempre y cuando permanezca en su ámbito en el método de la definición operativa, no puede agotar la inteligibilidad de su objeto. Todo análisis de carácter definitivo operativo, por su misma naturaleza, deja un residuo sin analizar, que no puede ser analizado ulteriormente en su misma formalidad”².

Así, intentaremos ver qué grado de realidad tienen los entes con los que trabaja la física cuántica, de qué modo los conocemos, y por qué podemos encontrar en ellos cierta indeterminación. Todos temas ya virtualmente resueltos en los apartados anteriores.

1 Cfr. SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, p. 354.

2 SELVAGGI, F., *Scienza e metodologia*, p. 180.

1. ONTOLOGÍA Y CONOCIMIENTO DE LA REALIDAD MICROFÍSICA

Según Selvaggi, es imposible en física no hablar de la substancia. A través de los accidentes propios, conocidos por los sentidos, conocemos a quién pertenecen dichos accidentes: la substancia. Así, “la ciencia investiga la realidad ontológica, el ser real, aunque no en su más amplia generalidad, mas bajo una formalidad peculiar, la realidad en cuanto observable”³. Por lo tanto, será preciso que reconozcamos que en física cuántica también conocemos —pues la observamos indirectamente a través de instrumentos— la misma substancia de los electrones, de los protones, de los neutrones, de los átomos, y de cualquier otra partícula elemental⁴, así como también conocemos sus accidentes propios, que son realmente distintos de ellos, ya sea la masa, carga eléctrica, energía de varias especies, spin, y cualquier otra⁵. Así, basándose en el principio de causalidad, que a partir de los efectos llega a una causa proporcionada, es preciso reconocer, la real existencia de las substancias en el mundo microfísico. Y no sólo la existencia de esta causa es conocida, sino también la naturaleza de la misma y sus propiedades intrínsecas⁶.

Deberemos también decir que las substancias con las que la física cuántica contemporánea trabaja están ubicadas en los últimos escalones de la jerarquía del ser, y con ello son las que tendrán menos actualidad de todas las substancias creadas, teniendo la mayor potencialidad. De modo que, aunque no podemos decir que la física cuántica esté trabajando con los elementos constitutivos de la realidad material, sí podemos afirmar que está cerca de hallar, o cada vez se acerca más, los cuerpos en los que todos los otros cuerpos se descomponen, existiendo en ellos acto y potencia, y que no pueden ser descompuestos en otros cuerpos específicamente diversos⁷. Y puesto que “las formas primeras de los elementos son las más cercanas a la materia”⁸, podemos decir que la física cuántica está trabajando con substancias cercanas a la materia prima.

3 SELVAGGI, F., *Scienza e metodologia*, p. 244.

4 Conocemos su substancia en cuanto están existiendo separados de otras, no cuando están formando parte de otras substancias.

5 Cfr. SELVAGGI, F., *Scienza e metodologia*, p. 162.

6 Cfr. SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, pp. 362-363. Ver, además, COROLARIO, *Conocimiento por analogía de tipo metonímica*.

7 Cfr. ARISTÓTELES, *De Caelo*, III, 302a 15.

8 SANTO TOMÁS, *De ente et essentia*, IV.

A esto es a lo que se refería Heisenberg al decir que las partículas elementales eran *en potencia* antes de ser observadas. Evidentemente no pueden ser pura potencia, sino serían la misma materia prima, que no puede existir a no ser bajo alguna formalidad⁹. Así, estas partículas tendrán, entonces, cierta formalidad y con ella cierta actualidad, aunque de las menores dada su cercanía a los grados inferiores del ser. Y en esta formalidad estriba el por qué la física cuántica puede mostrar la existencia de un fundamental determinismo en todos los entes, hasta en la mínima partícula elemental. Este determinismo fundamental se encuentra en la especificación, por lo menos genérica y cualitativa, del obrar de los variados elementos y de las distintas fuerzas. Así, las cargas eléctricas de distinto signo se atraen, mientras que las de igual signo se repelen, las fuerzas gravitacionales y nucleares siempre atraen, el aumento de la energía interna de un sistema se obtiene siempre absorbiéndola desde el exterior, etc. Hasta los distintos parámetros de las ecuaciones también son determinados. Y esta determinación fundamental es cuantitativamente exacta y rigurosamente idéntica para todos los casos particulares¹⁰. Es preciso afirmar que la física cuántica reconoce un determinismo fundamental en la naturaleza, y que no es posible aceptar un indeterminismo absoluto y exclusivo¹¹. Sin embargo, también está abierta a la experiencia, por la cual no puede negar la existencia de un cierto indeterminismo, que no es reducible al orden gnoseológico, sino que rige en el orden ontológico, dado por la potencialidad de la materia prima¹²: “La necesidad y la determinación física se fundan sobre el acto en cuanto acto, la probabilidad y la incertidumbre sobre el acto en cuanto limitado por la potencia en la que es recibido”¹³.

Aquí es donde encontramos, quizás, la observación experimental más directa de los hechos que acontecen *ut in paucioribus*. Sólo podremos tener, pues, una mayor o menor probabilidad de prever algún acontecimiento, pero no tendremos nunca certeza absoluta de lo que ocurrirá. No la tendremos por la indeterminación previa a la observación (por la imperfección de la forma

9 BELTRÁN, O., *La doctrina de la contingencia*, p. 69: “La indeterminación de la materia no basta para explicar la contingencia, porque ella de por sí es pura potencia, pura disponibilidad, y no tiene nada propio en virtud de lo cual resistir a la forma sustancial, por débil que ésta sea. Por eso su resistencia o capacidad de impedir ha de asumirse bajo una cierta disposición, que se atribuye a la forma que actualmente posee, y que puede guardar un grado diverso de adecuación con la del agente que pretende obrar sobre ella. Y dicho agente, si se trata de una sustancia natural, aun del orden celeste, sólo puede efectivizar su influjo *ad modum recipientis*”.

10 Cfr. SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, pp. 381-382.

11 Cfr. SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, p. 386.

12 Cfr. SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, pp. 386-388.

13 SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, p. 390.

sustancial de los partículas subatómicas o si se quiere por la *indispositionem materiae*), por la interacción entre el observador y lo observado (*concursum duarum causarum*) o por la interacción entre dos partículas necesaria para la observación (partícula observada y fotón con que se ilumina, *debilitas agentis* más *indispositionem materiae*).

De este modo, en los tres pasos explicados anteriormente de la observación en física cuántica encontramos posibilidad de indeterminación. En el primero, la observación inicial del sistema, el electrón será iluminado y por ende chocado por un cuanto de luz, con lo que ya habrá cambiado su cantidad de movimiento. En el segundo momento, el seguimiento a través del tiempo de la función de probabilidad, lo que se observa es la nube de probabilidades en la que el electrón podrá ser encontrado. En el tercer momento, el establecimiento de una nueva medición en el que vemos al electrón alejándose, volvemos a iluminar y con ello a chocar el electrón con un cuanto de luz¹⁴.

Ahora bien, es menester distinguir las distintas potencias a las que Heisenberg hace referencia, sin diferenciarlas. Encontramos que según Aristóteles y Santo Tomás existe la potencia pasiva y la potencia activa¹⁵. Ambas pueden ser halladas en el planteamiento de Heisenberg. La potencia activa es una tendencia, una determinación u ordenación en el obrar. Ordenación que, como todo orden, proviene de la forma de la substancia. Mientras que la potencia pasiva es la posibilidad de recibir tal o cual determinación¹⁶, que reside en la materia: “en la materia se encuentra la potencia pasiva”¹⁷ o “la potencia de la materia no es activa, si no solamente pasiva”¹⁸. Con esto se ve que la potencia activa se refiere al acto, mientras que la pasiva a la potencia: “la potencia pasiva se sigue del ente en potencia, y la potencia activa se sigue del ente en acto”¹⁹. Además, la gradación del ser conlleva la gra-

14 Cfr. HEISENBERG, W., *Física y filosofía*, pp. 32-33.

15 Cfr. SANTO TOMÁS, *In I Sent.*, 7, 1: “Omnis potentia vel est activa vel passiva”.

16 Cfr. SANTO TOMÁS, *In IX Metaph.*, 1: “Potentia autem passiva nihil aliud est quam principium patiendi ab alio. Cfr. También *S. Th.*, I, 25, 1, co: potentia activa est principium agendi in aliud, potentia vero passiva est principium patiendi ab alio”.

17 SANTO TOMÁS, *In I Sent.*, 3, 4, 2

18 SANTO TOMÁS, *In II Sent.*, 18, 1, 2 co. Cfr. también *De Pot.*, 3, 2, 5: “potentia passiva est subiectum mutationis”.

19 SANTO TOMÁS, *SCG*, II, 7. Además, Santo Tomás, *S. Th.*, I, 79, 7 co: “potentia activa comparatur ad suum obiectum, ut ens in actu ad ens in potentia, potentia autem passiva comparatur ad suum obiectum e converso, ut ens in potentia ad ens in actu”.

dación de la potencia activa y pasiva: “como la potencia activa se sigue del acto, la cantidad de potencia se sigue de la cantidad de acto”²⁰.

Heisenberg hace referencia a la potencia activa al describir la nube de probabilidad en la que puede ser encontrado el electrón. Éste tiende hacia ese lugar. Pero a su vez, la nube no es ‘un lugar’ determinado, sino varios, con lo cual encontramos en el electrón la potencia pasiva de ser determinado mediante la observación en un lugar u otro, lo que será en gran medida indeterminado, ya que los electrones tendrán una potencia activa menor dada su ubicación en la jerarquía ser²¹. Así, al negar la posibilidad de conocer exhaustivamente un sistema para poder prever sus estados futuros, Heisenberg afirmaba una cierta potencialidad activa en el sistema cuántico. Dada la perturbación provocada por la observación, la potencialidad del sistema es actualizada por nuevas formas, educidas de la potencialidad de la materia por la observación. Es imposible, práctica y teóricamente, dejar de lado estas nuevas actualizaciones: “La posibilidad de fallar es intrínseca, pero para que se produzca en acto dicho decaimiento se requiere el influjo de una causa extrínseca, según el principio general de que ninguna potencia pasiva se reduce al acto sino en virtud de la moción de una potencia activa”²².

Dada la potencialidad hacia los contrarios que se encuentra en estos sistemas microscópicos, la materia puede tomar formas imprevistas, que sólo pueden preverse de manera probabilística. Esto es lo que se hace con la función de probabilidad de Schrödinger en la física cuántica. La materia está abierta a la recepción de nuevas formas, aunque no a cualquiera, sino alguna prevista en la función de probabilidad: “tenemos, entonces, una potencialidad real, que no es pura potencia, si no que está constituida en un cierto grado de actualización y determinación. Y es justamente esta potencialidad parcialmente actualizada que, a nuestro parecer, constituye el fundamento real ontológico de la probabilidad a priori que regula los fenómenos cuánticos. La onda de probabilidad, por lo tanto, no es una función puramente subjetiva del observador y tampoco simplemente una probabilidad a posteriori, si no que debe ser concebida como una función física objetiva, como una potencialidad real que guía y regula el fenómeno, según una regularidad relevante estadísticamente”²³.

20 SANTO TOMÁS, *De Pot.*, 1, 2, co.

21 Más claro quedará esto teniendo en mente el ejemplo del dado cargado: éste tiende a dar siempre el mismo número (potencia activa), pero puede dar cualquier valor dependiendo de cómo ha sido arrojado (potencia pasiva).

22 BELTRÁN, O., *La doctrina de la contingencia*, pp. 51-52.

23 SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, pp. 389-390.

Así, la indeterminación en el obrar se funda sobre todo en una indeterminación ontológica²⁴, dada por la forma ubicada en los grados más bajos de la escala de los seres, y aquella, a su vez, funda una nueva indeterminación gnoseológica, por la cual no podemos prever con certeza absoluta el futuro de un sistema.

2. CAUSALIDAD EN LA REALIDAD MICROFÍSICA

Como hemos visto, el principio de causalidad se funda en la participación trascendental del ser, y, así las cosas, no puede ser negado en absoluto por ninguna ciencia particular, sea clásica, cuántica, o cualquier ciencia futura, ya que todo ente existente tiene su ser recibido de otro, sin importar la intensidad de su ser.

El principio del determinismo absoluto de la física clásica es, filosófica y físicamente insostenible, como lo ha mostrado la física del siglo XX y como lo habían demostrado Aristóteles y Tomás. Con respecto al principio de determinación natural, confundido con el determinismo, la física cuántica admite siempre una causa para todo fenómeno que observa, pero que siempre es hallada a posteriori, y siempre es una causa que será conforme a lo causado porque el modo de la causalidad corresponderá al modo del ente causado²⁵. Dicho de otro modo, de seres contingentes se puede esperar un obrar contingente, ya que *operari sequitur esse*. Es decir, dado tal efecto, es posible reconocer la causa que lo provocó, pero no se puede de la causa descender hasta el efecto que será provocado. La partícula subatómica no está determinada a obrar de tal o cual modo, pero una vez que actúa, lo actuado por ella depende necesariamente de su causa.

Heisenberg no habla contra el principio de causalidad, sino contra el determinismo absoluto de la física clásica. El principio de indeterminación o de incertidumbre de Heisenberg está fundado sobre una real indeterminación ontológica en el ser, en virtud de la cual es imposible conocer el estado inicial de un sistema cuántico, que funda la indeterminación en el obrar. Por ello es imposible prever con certeza el futuro del mismo sistema, lo que conlleva una indeterminación gnoseológica infranqueable. Así, la física cuántica no elimina el significado fundamental del principio de causalidad ni del razona-

24 Cayetano *In I*, 115, 6, XIV: “el poder fallar eventualmente, que es la raíz del azar y la fortuna y de toda contingencia en la naturaleza, es consecuencia del poder no ser. Y, para decirlo en una palabra, es consecuencia de la imperfección propia de los cuerpos inferiores”. Citado por BELTRÁN, O., *La doctrina de la contingencia* p. 67, nota n° 48.

25 BELTRÁN, O., *La doctrina de la contingencia*, p. 52.

miento causal, sino que se funda necesariamente en él²⁶, ya que si el mundo físico en su estructura ontológica no está ordenado causalmente entonces no será posible conocimiento científico alguno²⁷. El mismo Heisenberg afirmaba que “las relaciones de indeterminación evidentemente no se aplican al pasado; en efecto, si en un primer momento se conoce la velocidad del electrón, entonces si determinamos exactamente su posición podemos calcular exactamente la posición del electrón para los tiempos *anteriores* a tal medición”²⁸. Mientras que la teoría de los cuantos “permite siempre enumerar a posteriori las razones por las cuales un hecho ha acontecido, aunque no es posible la previsión del hecho futuro”²⁹.

El indeterminismo microfísico, correctamente entendido, no puede significar una quiebra del principio de causalidad, de lo contrario habrían sido vanas, por la fundamentalidad de este principio las importantes y definitivas aplicaciones que los principios cuánticos tuvieron para resolver muchos problemas de la física³⁰.

3. INTERFENÓMENOS

Como dijimos previamente, el objeto de la ciencia es lo observable directa o indirectamente. Entre dos observaciones en física cuántica ocurren eventos, los llamados interfenómenos, que no pueden ser observados (repetámoslo, ni práctica ni teóricamente). Por lo tanto, estos últimos no serán objetos de la reflexión de la ciencia física, pues no son fenómenos físicos propiamente hablando.

Sin embargo, que no sean objetos de la ciencia por no poder ser observados y que no sea necesaria su descripción para la predicción (probable) de otros fenómenos, no quiere decir que no existan realmente, que no tengan una determinación existencial propia. Podremos decir que son aun más potenciales que los fenómenos observados, pero no podremos nunca negar su real existencia si no queremos volver a hablar de una nueva forma de ocasionismo físico, de armonía preestablecida, o caer en un irracionalismo radical.

26 Cfr. SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, p. 364.

27 Cfr. QUERALTÓ, *Indeterminismo y racionalidad*, p. 73.

28 HEISENBERG, W., *Les principes physiques de la théorie des quantas*, p. 15.

29 HEISENBERG, W., *Mutamenti nelle basi della scienza*, tr. it., Torino, 1949, p. 70, citado por SELVAGGI, F., *Filosofia del mondo*, p. 429.

30 Cfr. QUERALTÓ, *Indeterminismo y racionalidad*, p. 72.

Esta realidad necesaria de los interfenómenos es determinada por una necesidad racional, que exige una continuidad de la realidad existente³¹.

4. LA ANALOGÍA EN LA FÍSICA CUÁNTICA

Las ideas claras y distintas que buscaba la física clásica, ideas perfectamente determinadas, unívocas, no son posibles de alcanzar en el terreno de la física cuántica, y, deberíamos decir, no son posibles de alcanzar en cualquier terreno natural, pues siempre nos encontraremos con la imprecisión que nos presenta el principio material de los entes: “no es posible dar una descripción exhaustiva del mundo microfísico sin incurrir en anomalías causales, donde por descripción exhaustiva se entiende una descripción que, en el conjunto esencialmente discontinuo de los fenómenos observables, introduce una continuidad a través de una cadena de interfenómenos esencialmente inobservables, y por anomalía causal se entiende una contradicción de las leyes estables para los eventos observables”³².

Sin embargo, dado que nuestro intelecto no puede tener conceptos propios e intuitivos a no ser de aquellas realidades que pueden ser objeto de experiencia directa³³, y dado que nuestro lenguaje depende de estos conceptos, no podemos dejar de lado el lenguaje corriente de la física clásica para referirnos a las realidades cuánticas, ya que de ellas sólo tenemos experiencia macrofísicas³⁴. Por lo tanto, dado que en la física cuántica sólo podemos tener representaciones intuitivas de lo que ocurre, la única manera de salvar a la ciencia actual del agnosticismo y del subjetivismo es el recurso a la analogía³⁵.

En sentido general podemos decir que la analogía es una semejanza mezclada con desemejanza, una semejanza parcial, es decir, está a medio camino entre una identidad completa y una desemejanza total. Por ser semejanza es un verdadero conocimiento de la cosa, por ser desemejanza, es un conocimiento imperfecto. La analogía nos permite conocer una cosa que no podemos percibir directamente, sino que la percibimos indirectamente, ya sea

31 Cfr. SELVAGGI, F., *Scienza e metodologia*, pp. 151-152.

32 SELVAGGI, F., *Causalità e indeterminismo*, p. 388. Cfr. HEISENBERG, W., *Física y filosofía*, p. 30.

33 Cfr. SELVAGGI, F., *Filosofía del mundo*, p. 98.

34 Cfr. HEISENBERG, W., *Física y filosofía*, pp. 41 y 110. Para más textos al respecto nos referimos al apartado *Las interpretaciones filosóficas de Werner Heisenberg a partir de las relaciones de incertidumbre*, “Problemas del lenguaje”.

35 Cfr. SELVAGGI, F., “Le teorie fisiche e l’analogia”, en su *Scienza e metodologia*, p. 122.

gracias a su obrar o a sus efectos. Así es como conocemos en filosofía a Dios y sus atributos, al alma humana y sus potencias, etc. Encontramos varios géneros de analogía. El primero de ellos es la metáfora, que se usa mucho en el lenguaje común y en la poesía³⁶. Ésta no tiene un valor probativo, pero ilumina las nociones más difíciles de entender confrontándolas con las nociones más concretas y cercanas. En física ha sido utilizado este tipo de analogía, por ejemplo, por Niels Bohr en la construcción del modelo planetario del átomo. Éste modelo no daba un conocimiento propio y unívoco de la realidad, sino que era un símbolo que representaba la realidad. Un símbolo que no es vacío de contenido, puramente artificial, sino que es un símbolo natural, una verdadera, aunque parcial, similitud con la naturaleza³⁷.

El segundo tipo de analogía es la metonimia, es decir, la figura retórica que denomina la causa por el efecto y el efecto por la causa, la parte por el todo, el contenido por el continente y viceversa, etc.³⁸ Es la analogía que se puede llamar de atribución. Este tipo de analogía no hace conocer la cosa por su misma realidad intrínseca, sino a través de la relación de dependencia y causalidad respecto a otra cosa directamente conocida. De este modo conocemos en física la electricidad o las ondas hertzianas por los efectos que producen en los aparatos, y con ellos podemos construir toda la teoría electromagnética. Así también conocemos y definimos con mucha exactitud al electrón y otras partículas elementares por las medidas que se efectúan en contadores Geiger o mediante trayectorias en cámaras de niebla. El conocimiento que obtenemos con la metonimia es muy imperfecto, pues no conocemos los electrones o la electricidad por sus notas esenciales intrínsecas. Sin embargo, el conocimiento brindado por este tipo de analogía tiene la misma fundamentación que la definición operativa, ya que “en las cosas sensibles, las notas esenciales no son directamente conocidas, si no que se descubren a través de las notas accidentales, que derivan de las esenciales, como la causa es conocida por su efecto”³⁹.

Para obtener un conocimiento más perfecto e íntimo de la realidad es necesario llegar a un tercer tipo de analogía: la analogía de proporcionalidad⁴⁰. La proporción es una igualdad entre dos relaciones. Conocemos la existencia de dos realidades: una, A, directamente en sí, y la otra, X, indirectamente por

36 Cfr. SANTO TOMÁS, *S. Th.*, I, 13, 6, co.

37 Cfr. SELVAGGI, F., *Le teorie fisiche e l'analogia*, p. 124.

38 Cfr. SANTO TOMÁS, *S. Th.*, III, 78, 3, 1.

39 SELVAGGI, F., *Le teorie fisiche e l'analogia*, p. 124.

40 Cfr. SANTO TOMÁS, *S. Th.*, I, 13, 5, co.

sus efectos. En A vemos una propiedad determinada B y conocemos la relación que hay entre A y su propiedad B. Vemos a su vez, que los efectos de X, por los que lo conocemos, son similares a los efectos que A produce por su propiedad B. Por lo tanto, podemos decir que X tiene la propiedad B, no de la misma manera que la tiene A, sino de una manera proporcionada a su propio ser, es decir la propiedad B(X). Hemos construido de esta forma una analogía de proporcionalidad, que puede ser expresada en forma matemática: $A/B = X/B(X)$, en la que la igualdad no debe ser interpretada como una identidad matemática cuantitativa, sino como una identidad cualitativa, una semejanza de relaciones. La analogía de proporcionalidad significa que una perfección tal se encuentra intrínsecamente en todos los analogados, de manera esencialmente distinta, pero proporcionalmente idéntica⁴¹. Así, Selvaggi cree que “esta analogía de proporcionalidad puede ser utilizada con grandes ventajas en el conocimiento de la realidad física no observable directamente; creemos que sólo un conocimiento por analogía de proporcionalidad es posible respecto de la realidad física elemental, excluyendo toda posibilidad de ideas claras y distintas de Descartes. Mas por esta analogía debemos decir que los inobservables físicos, cuya existencia debe ser afirmada para explicar los fenómenos observables, no son un X totalmente desconocido, como el noumeno kantiano. A través de sus efectos determinados y constantes, conocemos no solo su existencia, si no también su esencia por analogía con los objetos de la experiencia directa”⁴².

De este modo podemos decir que la realidad elemental está compuesta por corpúsculos, dado que tiene propiedades similares a las propiedades de los corpúsculos físicamente observables, mas diremos corpúsculo en un sentido análogo. Y por el hecho de no ser corpúsculos en sentido unívoco, sino análogo, podrá tener propiedades similares a otras realidades que no sean corpusculares, así como las ondas. Por esto podremos decir que también está compuesta por ondas, pero diremos onda en un sentido análogo. Y así con otras propiedades. Es útil recurrir a conceptos de la física clásica para referirse a las realidades microfísicas, mas siempre teniendo presente que se están utilizando análogamente y no unívocamente⁴³.

La analogía es un camino fecundo para la construcción de teorías físicas, que permitirá evitar la univocidad contradictoria de la física clásica. Es un conocimiento imperfecto de la realidad, pero es un conocimiento mejor que el

41 Cfr. SELVAGGI, F., *Le teorie fisiche e l'analogia*, p. 125.

42 SELVAGGI, F., *Le teorie fisiche e l'analogia*, p. 126.

43 Cfr. HEISENBERG, W., *Física y filosofía*, pp. 30, 41.

que la física clásica manejaba⁴⁴. El retorno a la interpretación realista de la física no puede ser efectuado si no es superando decididamente el mecanicismo y el racionalismo cartesianos e introduciendo en física la analogía⁴⁵. Sólo dejando de lado la univocidad del ser parmenídeo, retomado por los filósofos modernos, en la que se fundamenta el determinismo absoluto que tomó la física clásica, obtendremos una concepción más elástica de la realidad, no tan dura, no tan según nuestros gustos. Mediante una concepción análoga del ser, en la cual podremos aplicar el método arriba expuesto, nos acercaremos a una comprensión más profunda del misterio del ser creado, que testimonia su finitud en su fugacidad, en su estabilidad transitoria, en la fragilidad de su obrar, pero que, en la misma fugacidad, fragilidad e inestabilidad, testimonia también la grandeza de su Creador.

5. CONCLUSIÓN

Como dije en la introducción, he planteado el problema del determinismo en el obrar de los agentes naturales, la física de principios del siglo XX y la interpretación de Heisenberg. En esta interpretación, Heisenberg proponía una visión más dinámica, elástica, compleja, analógica de la realidad. Una visión en la cual el acto y la potencia eran co-principios de la realidad, y la realidad no se reducía solamente a lo actual.

Vimos también cómo es posible justificar el método que Heisenberg utiliza para su ciencia, la definición operativa, en la misma naturaleza de las cosas, por lo que no habría problemas en aceptar sus conclusiones físicas. He analizado, además, la manera en que los agentes naturales obran de acuerdo a su naturaleza, más o menos perfecta, y cómo los acontecimientos que ocurren *ut in paucioribus* se justifican por la estructura hilemórfica de los entes naturales.

Por último, he intentado esbozar las bases para una interpretación filosófica de la mecánica cuántica, mostrando que las ideas de Heisenberg pueden ser leídas a la luz de las doctrinas de Santo Tomás y Aristóteles acerca del ser analógico y los grados de ser.

Por lo tanto, creo que no estará de más afirmar que, si Tomás hubiese tenido los datos de la experiencia que Heisenberg ha tenido, hubiera encontrado

44 Cfr. SELVAGGI, F., *Le teorie fisiche e l'analogia*, p. 127. Es interesante notar que autores fuera de la tradición tomista, como lo es Rom Harré, tienen afirmaciones y posturas muy similares a estas. Cfr. HARRÉ, R., *Varieties of Realism*, Basil Blackwell, Oxford, 1986, pp. 201-221.

45 Cfr. SELVAGGI, F., *Scienza e metodologia*, p. 248.

mucho más sencillo mostrar y luego demostrar el indeterminismo que se encuentra en la naturaleza, fundamentado en una determinación *ad unum* del agente natural, y que, como enseña quien me inspiró a estudiar estos problemas: “aunque Dios juegue a los dados con el universo, debe estar seguro de que va a ganar”.

CUADERNOS DE ANUARIO FILOSÓFICO
SERIE UNIVERSITARIA

(Los números que no aparecen están agotados)

- 2 Angel Luis González, *El absoluto como "causa sui" en Spinoza* (1992), (1996, 2ª ed.), (2000, 3ª ed.)
- 3 Rafael Corazón, *Fundamentos y límites de la voluntad. El libre arbitrio frente a la voluntad absoluta* (1992), (1999, 2ª ed. corregida)
- 12 Blanca Castilla, *Las coordenadas de la estructuración del yo. Compromiso y fidelidad según Gabriel Marcel* (1994), (1999, 2ª ed.)
- 18 Rafael Corazón, *Las claves del pensamiento de Gassendi* (1995)
- 22 René Descartes, *Dios: su existencia*. Selección de textos, introducción, traducción y notas de José Luis Fernández-Rodríguez (2001, 2ª ed.)
- 27 Tomás de Aquino, *El bien*. Selección de textos, introducción, traducción y notas de Jesús García López (1996)
- 29 Alfredo Rodríguez Sedano, *El argumento ontológico en Fénelon* (1996)
- 34 Charles S. Peirce, *Un argumento olvidado en favor de la realidad de Dios*. Introducción, traducción y notas de Sara F. Barrera (1996); Versión on-line: www.unav.es/gep/Barrera/cua34.html
- 35 Descartes, *Dios. Su naturaleza*. Selección de textos, introducción, traducción y notas de José Luis Fernández Rodríguez (1996) (2001, 2ª ed.)
- 41 Alfredo Rodríguez, *La prueba de Dios por las ideas en Fénelon* (1997)
- 45 Gonzalo Génova, Charles S. Peirce: *La lógica del descubrimiento* (1997); Versión on-line: www.unav.es/gep/Genova/cua45.html
- 46 Fernando Haya, *La fenomenología metafísica de Edith Stein: una glosa a "Ser finito y ser eterno"* (1997)
- 48 Ricardo Yepes, *La persona y su intimidad*, edición a cargo de Javier Aranguren (1997), (1998, 2ª ed.)
- 52 Ignasi Miralbell, *Duns Escoto: la concepción voluntarista de la subjetividad* (1998)
- 55 David Hume, *Dios*. Selección de textos, introducción, traducción y notas de José Luis Fernández-Rodríguez (1998) (2001, 2ª ed.)
- 58 Mercedes Rubio, *Los límites del conocimiento de Dios según Alberto Magno* (1998)
- 60 Leonardo Polo, *La voluntad y sus actos (II)* (1998)
- 64 Nicolás de Cusa, *Diálogos del idiota*. Introducción y traducción de Angel Luis González (1998) (2000, 2ª ed.)
- 68 Tomás de Aquino, *Comentario al Libro VI de la Metafísica de Aristóteles. De qué manera la metafísica debe estudiar el ente*. Traducción y edición de Jorge Morán (1999)
- 69 Tomás de Aquino, *Comentario al Libro VII de la Metafísica de Aristóteles*. Prólogo, traducción y edición de Jorge Morán (1999)
- 70 Tomás de Aquino, *Comentario al Libro VIII de la Metafísica de Aristóteles. Los principios de las substancias sensibles*. Prólogo, traducción y edición de Jorge Morán (1999)

- 71 Ignacio Falgueras Salinas, *Perplejidad y Filosofía Trascendental en Kant* (1999)
- 75 Ana Marta González, *El Faktum de la razón. La solución kantiana al problema de la fundamentación de la moral* (1999)
- 79 George Berkeley, *Dios*. Introducción, selección de textos y traducción de José Luis Fernández-Rodríguez (1999)
- 82 Francisco Molina, *La sindéresis* (1999)
- 87 Tomás de Aquino, *De Veritate, cuestión 15. Acerca de la razón superior e inferior*. Introducción, traducción y notas de Ana Marta González (1999)
- 88 Jesús García López, *Fe y Razón* (1999)
- 91 Tomás de Aquino, *De Veritate, cuestión 19. Sobre el conocimiento del alma tras la muerte*. Introducción, traducción y notas de José Ignacio Murillo (1999)
- 92 Tomás de Aquino, *Comentario al Libro IV de la Metafísica de Aristóteles*. Prólogo, traducción y edición de Jorge Morán (1999)
- 94 Jesús García López, *Elementos de metodología de las ciencias* (1999)
- 95 M^a Elvira Martínez Acuña, *Teoría y práctica política en Kant. Una propuesta de encaminamiento hacia la paz y sus límites* (2000)
- 96 Tomás Melendo Granados, *Esbozo de una metafísica de la belleza* (2000)
- 97 Antonio Schlatter Navarro, *El liberalismo político de Charles Taylor* (2000)
- 98 Miguel Ángel Balibrea, *La realidad del máximo pensable. La crítica de Leonardo Polo al argumento de San Anselmo* (2000)
- 99 Nicolás de Cusa, *El don del Padre de las luces*. Introducción, traducción y notas de Miguel García González (2000)
- 100 Juan José Padial, *La antropología del tener según Leonardo Polo* (2000)
- 101 Juan Fernando Sellés, *Razón Teórica y Razón Práctica según Tomás de Aquino* (2000)
- 102 Miguel Acosta López, *Dimensiones del conocimiento afectivo. Una aproximación desde Tomás de Aquino* (2000)
- 103 Paloma Pérez Ilzarbe y Raquel Lázaro (eds.), *Verdad, Bien y Belleza. Cuando los filósofos hablan de valores* (2000)
- 104 Valle Labrada, *Funciones del Estado en el pensamiento iusnaturalista de Johannes Messner* (2000)
- 105 Patricia Moya, *La intencionalidad como elemento clave en la gnoseología del Aquinate* (2000)
- 106 Miguel Ángel Balibrea, *El argumento ontológico de Descartes. Análisis de la crítica de Leonardo Polo a la prueba cartesiana* (2000)
- 107 Eduardo Sánchez, *La esencia del hábito según Tomás de Aquino y Aristóteles* (2000)
- 108 Tomás de Aquino, *De Veritate, cuestión 2. La ciencia de Dios*. Traducción de Ángel Luis González (2000)
- 109 Rafael Mies Moreno, *La inteligibilidad de la acción en Peter F. Drucker* (2000)
- 110 Jorge Mittelman, *Pensamiento y lenguaje. El Cours de Saussure y su recepción crítica en Jakobson y Derrida* (2000)
- 111 Tomás de Aquino, *De Veritate, cuestión 26. Las pasiones del alma*. Introducción, traducción y notas de Juan Fernando Sellés (2000)
- 112 Tomás de Aquino, *Comentario al Libro V de la Metafísica de Aristóteles*. Introducción, traducción y edición de Jorge Morán (2000)

- 113 María Elton, *La is-ought question. La crítica de T. Reid a la filosofía moral de D. Hume* (2000)
- 115 Tomás de Aquino, *Sobre la naturaleza de la materia y sus dimensiones indeterminadas*. Introducción, texto bilingüe y notas de Paulo Faitanin (2000)
- 116 Roberto J. Brie, *Vida, psicología comprensiva y hermenéutica. Una revisión de categorías diltheyanas* (2000)
- 117 Jaume Navarro Vives, *En contacto con la realidad. El realismo crítico en la filosofía de Karl Popper* (2000)
- 118 Juan Fernando Sellés, *Los hábitos adquiridos. Las virtudes de la inteligencia y la voluntad según Tomás de Aquino* (2000)
- 119 Tomás de Aquino, *De Veritate, cuestión 6. La predestinación*. Traducción de Ángel Luis González (2000)
- 120 Consuelo Martínez Priego, *Las formulaciones del argumento ontológico de Leibniz*. Recopilación, traducción, comentario y notas de Consuelo Martínez Priego (2000)
- 121 Tomás de Aquino, *De Veritate, cuestión 25. Acerca de la sensualidad*. Introducción, traducción y notas de Juan Fernando Sellés (2001)
- 122 Jorge Martínez Barrera, *La política en Aristóteles y Tomás de Aquino* (2001)
- 123 Héctor Velázquez Fernández, *El uno: sus modos y sentidos en la Metafísica de Aristóteles* (2001)
- 124 Tomás de Aquino, *De Potentia Dei, cuestiones 1 y 2. La potencia de Dios considerada en sí misma. La potencia generativa en la divinidad*. Introducción, traducción y notas de Enrique Moros y Luis Ballesteros (2001)
- 125 Juan Carlos Ossandón, *Felicidad y política. El fin último de la polis en Aristóteles* (2001)
- 126 Andrés Fuertes, *La contingencia en Leibniz* (2001)
- 127 Tomás de Aquino, *De Veritate, cuestión 4. Acerca del Verbo*. Introducción y traducción de M^a Jesús Soto Bruna (2001)
- 128 Tomás de Aquino, *De Potentia Dei, cuestión 3. La creación*. Introducción, traducción y notas de Ángel Luis González y Enrique Moros (2001)
- 129 Tomás de Aquino, *De Veritate, cuestión 12. Sobre la profecía*. Traducción y notas de Ezequiel Téllez (2001)
- 130 Paulo Faitanin, *Introducción al "problema de la individuación" en Aristóteles* (2001)
- 131 Tomás de Aquino, *De Veritate, cuestión 22. El apetito del bien*. Introducción, traducción y notas de Juan Fernando Sellés (2000)
- 132 Héctor Velázquez Fernández, *Lo uno y lo mucho en la Metafísica de Aristóteles* (2001)
- 133 Luz Imelda Acedo Moreno, *La actividad divina inmanente* (2001)
- 134 Luz González Umeres, *La experiencia del tiempo humano. De Bergson a Polo* (2001)
- 135 Paulo Faitanin, *Ontología de la materia en Tomás de Aquino* (2001)
- 136 Ricardo Oscar Díez, *¿Si hay Dios, quién es? Una cuestión planteada por San Anselmo de Cantorbery en el Proslogion* (2001)
- 137 Julia Urabayen, *Las sendas del pensamiento hacia el misterio del ser. La filosofía concreta de Gabriel Marcel* (2001)
- 138 Paulo Sergio Faitanin, *El individuo en Tomás de Aquino* (2001)
- 139 Genara Castillo, *La actividad vital humana temporal* (2001)
- 140 Juan A. García González, *Introducción a la filosofía de Emmanuel Levinas* (2001)

- 141 Rosario Athié, *El asentimiento en J. H. Newman* (2001)
- 142 Tomás de Aquino, *De Veritate, cuestión 10. La mente*. Traducción de Ángel Luis González (2001)
- 143 Francisca R. Quiroga, *La dimensión afectiva de la vida* (2001)
- 144 Eduardo Michelena Huarte, *El confín de la representación. El alcance del arte en A. Schopenhauer I* (2001)
- 145 Eduardo Michelena Huarte, *El mundo como representación artística. El alcance del arte en A. Schopenhauer II* (2001)
- 146 Raúl Madrid, *Sujeto, sociedad y derecho en la teoría de la cultura de Jean Baudrillard* (2001)
- 147 Tomás de Aquino, *De Veritate, cuestión 14. La fe*. Introducción, traducción y notas de Santiago Gelonch y Santiago Argüello (2001)
- 148 Tomás de Aquino, *De Veritate, cuestión 23. Sobre la voluntad de Dios*. Introducción, traducción y notas de M^a Socorro Fernández (2002)
- 149 Paula Lizarraga y Raquel Lázaro (eds.), *Nihilismo y pragmatismo. Claves para la comprensión de la sociedad actual* (2002)
- 150 Mauricio Beuchot, *Estudios sobre Peirce y la escolástica* (2002)
- 151 Andrés Fuertes, *Prometeo: de Hesíodo a Camus* (2002)
- 152 Héctor Zagal, *Horismós, syllogismós, asápheia. El problema de la obscuridad en Aristóteles* (2002)
- 153 Fernando Domínguez, *Naturaleza y libertad en Guillermo de Ockham* (2002)
- 154 Tomás de Aquino, *Comentario al Libro XI de la Metafísica de Aristóteles*. Traducción y notas de Jorge Morán (2002)
- 155 Sergio Sánchez-Migallón, *El conocimiento filosófico en Dietrich von Hildebrand* (2002)
- 156 Tomás de Aquino, *De Veritate, 7. El libro de la vida*. Traducción de Ángel Luis González (2002)
- 157 María Pía Chirinos, *Antropología y trabajos. Hacia una fundamentación filosófica de los trabajos manuales y domésticos* (2002)
- 158 Juan Fernando Sellés, Rafael Corazón y Carlos Ortiz de Landázuri, *Tres estudios sobre el pensamiento de San Josemaría Escrivá* (2003)
- 159 Tomás de Aquino, *De Veritate, 20. Acerca de la ciencia del alma de Cristo*. Introducción, traducción y notas de Lucas F. Mateo Seco (2003)
- 160 Carlos A. Casanova, *Una lectura platónica aristotélica de John Rawls* (2003)
- 161 Tomás de Aquino, *De Veritate, 8. El conocimiento de los ángeles*. Introducción, traducción y notas de Ángel Luis González y Juan Fernando Sellés (2003)
- 162 Santiago Collado, *El juicio veritativo en Tomás de Aquino* (2003)
- 163 Juan Fernando Sellés, *El conocer personal. Estudio del entendimiento agente según Leonardo Polo* (2003)
- 164 Paloma Pérez Ilzarbe y José Ignacio Murillo (eds.), *Ciencia, tecnología y sociedad. Un enfoque filosófico* (2003)
- 165 Tomás de Aquino, *De Veritate, 24. El libre albedrío*. Introducción, traducción y notas de Juan Fernando Sellés (2003)
- 166 Juan Fernando Sellés (ed.), *Modelos antropológicos del siglo XX* (2004)
- 167 Luis Romera Oñate, *Finitud y trascendencia* (2004)
- 168 Paloma Pérez-Ilzarbe / Raquel Lázaro (eds.), *Verdad y certeza. Los motivos del escepticismo* (2004)
- 169 Leonardo Polo, *El conocimiento racional de la realidad*. Presentación, estudio introductorio y notas de Juan Fernando Sellés (2004)

- 170 Leonardo Polo, *El yo*. Presentación, estudio introductorio y notas de Juan Fernando Sellés (2004)
- 171 Héctor Velázquez (ed.), *Orígenes y conocimiento del universo. Un acercamiento interdisciplinar* (2004)
- 172 Juan Andrés Mercado, *David Hume: las bases de la moral* (2004)
- 173 Jorge Mario Posada, *Voluntad de poder y poder de la voluntad. Una glosa a la propuesta antropológica de Leonardo Polo a la vista de la averiguación nietzscheana* (2004)
- 174 José María Torralba (ed.), *Doscientos años después. Retornos y relecturas de Kant. Two hundred years after. Returns and re-interpretations of Kant* (2005)
- 175 Leonardo Polo, *La crítica kantiana del conocimiento*. Edición preparada y presentada por Juan A. García González (2005)
- 176 Urbano Ferrer, *Adolf Reinach. Las ontologías regionales* (2005)
- 177 María J. Binetti, *La posibilidad necesaria de la libertad. Un análisis del pensamiento de Søren Kierkegaard* (2005)
- 178 Leonardo Polo, *La libertad trascendental*. Edición, prólogo y notas de Rafael Corazón (2005)
- 179 Leonardo Polo, *Lo radical y la libertad*. Edición, prólogo y notas de Rafael Corazón (2005)
- 180 Nicolás de Cusa, *El No-otro*. Traducción, introducción y notas de Ángel Luis González (2005)
- 181 Gloria Casanova, *El Entendimiento Absoluto en Leibniz* (2005)
- 182 Leonardo Polo, *El orden predicamental*. Edición y prólogo de Juan A. García González (2005)
- 183 David González Ginocchio, *El acto de conocer. Antecedentes aristotélicos de Leonardo Polo* (2005)
- 184 Tomás de Aquino, *De Potentia Dei*, 5. *La conservación*. Introducción, traducción y notas de Nicolás Prieto (2005)
- 185 Luz González Umeres, *Imaginación, memoria y tiempo. Contrastes entre Bergson y Polo*. (2005)
- 186 Tomás de Aquino, *De Veritate*, 18. *Sobre el conocimiento del primer hombre en el estado de inocencia*. Introducción, traducción y notas de José Ignacio Murillo (2006)
- 187 Spinoza, *El Dios de Spinoza*. Selección de textos, traducción e introducción de José Luis Fernández (2006)
- 188 Leonardo Polo, *La esencia humana*. Estudio introductorio y notas de Genara Castillo (2006)
- 189 Leonardo Polo, *El logos predicamental*. Edición, presentación y notas de Juan Fernando Sellés y Jorge Mario Posada (2006)
- 190 Tomás de Aquino, *De Veritate*, 29. *La gracia de Cristo*. Traducción, introducción y notas de Cruz González-Ayesta (2006)
- 191 Jorge Mario Posada, *Lo distintivo del amar. Glosa libre al planteamiento antropológico de Leonardo Polo* (2007)
- 192 Luis Placencia, *La ontología del espacio en Kant* (2007)
- 193 Luis Xavier López Farjeat y Vicente de Haro Romo, *Tras la crítica literaria. Hacia una filosofía de la comprensión literaria* (2007)
- 194 Héctor Velázquez, *Descifrando el mundo. Ensayos sobre filosofía de la naturaleza* (2007)
- 195 Felipe Schwember, *El giro kantiano del contractualismo* (2007)
- 196 Locke, *El Dios de Locke*. Introducción, selección de textos y traducción de José Luis Fernández (2007)
- 197 Jesús María Izaguirre y Enrique R. Moros, *La acción educativa según la*

- antropología trascendental de Leonardo Polo* (2007)
- 198 Jorge Mario Posada, *La intencionalidad del inteligir como iluminación. Una glosa al planteamiento de Leonardo Polo* (2007)
- 199 Juan Duns Escoto, *Naturaleza y voluntad. Quaestiones super libros Metaphysicorum Aristotelis, IX, q. 15*. Introducción, traducción y notas de Cruz González Ayesta (2007)
- 200 Nicolás de Cusa, *El Berilo*. Introducción, traducción y notas de Ángel Luis González (2007)
- 201 Jesús García López, *El alma humana y otros escritos inéditos*. Presentación y edición de José Ángel García Cuadrado (2007)
- 202 Luz Imelda Acedo Moreno, *Richard Stanley Peters: una revolución en la filosofía de la educación. Actividad intelectual y praxis educativa* (2007)
- 203 Juan Cruz Cruz (ed.), *Ley natural y niveles antropológicos. Lecturas sobre Tomás de Aquino* (2008)
- 204 Óscar Jiménez Torres, *Definiciones y demostraciones en las obras zoológicas de Aristóteles. El acto y la potencia en el conocimiento demostrativo* (2008)
- 205 Nicolás González Vidal, *La pasión de la tristeza y su relación con la moralidad en Santo Tomás de Aquino* (2008)
- 206 María Alejandra Mancilla Drpic, *Espectador imparcial y desarrollo moral en la ética de Adam Smith* (2008)
- 207 Leonardo Polo, *El hombre en la historia*. Presentación y edición de Juan A. García González (2008)
- 208 Jorge Mario Posada, "Primalidades" de la amistad "de amor" (2008)
- 209 Daniel Mansuy Huerta, *Naturaleza y comunidad. Una aproximación a la recepción medieval de la Política: Tomás de Aquino y Nicolás Oresme* (2008)
- 210 José Manuel Núñez Pliego, *Abstracción y separación. Estudio sobre la metafísica de Tomás de Aquino* (2009)
- 211 Jorge Peña Vial, *El mal para Paul Ricoeur* (2009)
- 212 Mario Šilar / Felipe Schwember, *Racionalidad práctica. Intencionalidad, normatividad y reflexividad* (2009)
- 213 Agustín López Kindler, *¿Dioses o Cristo? Momentos claves del enfrentamiento pagano al cristianismo* (2009)
- 214 David González Ginocchio, *Metafísica y libertad. Comunicaciones presentadas en las XLVI Reuniones Filosóficas de la Universidad de Navarra* (2009)
- 215 Carlos Llano, *Análisis filosófico del concepto de motivación* (2009)
- 216 Juan Fernando Sellés, *Intuición y perplejidad en la antropología de Scheler*, Introducción, selección de textos y glosas (2009)
- 217 Leonardo Polo Barrena, *Introducción a Hegel*. Edición y presentación de Juan A. García González (2010)
- 218 Francisco O'Reilly, *Avicena y la propuesta de una antropología aristotélico-platónica. Introducción a los textos* (2010)
- 219 Ángel Pacheco Jiménez, *Potencia y oposición. Un acercamiento a las nociones de potencia racional, potencia de la contradicción y potencia de la contrariedad según los comentarios de Santo Tomás a la Metafísica de Aristóteles* (2010)
- 220 Maite Nicuesa, *La tristeza y su sujeto según Tomás de Aquino* (2010)

- 221 Luz González Umeres, *La creación artística. Una explicación filosófica* (2010)
- 222 Josep-Ignasi Saranyana, *Por qué sufren los buenos y triunfan los malos. Comentario literal de Tomás de Aquino al libro de Job (capítulos 1-3)*, Traducción, estudio preliminar y notas (2010)
- 223 Josu Ahedo, *El conocimiento de la naturaleza humana desde la sindéresis. Estudio de la propuesta de Leonardo Polo* (2010)
- 224 David González Ginocchio, *La metafísica de Avicena: La arquitectura de la ontología* (2010)
- 225 Gastón Robert Tocornal, *Armonía Preestablecida "versus" Influjo Físico. Un estudio acerca del problema de la interacción de las sustancias naturales en la filosofía temprana de Kant (1746-1756)* (2010)
- 226 Eduardo Molina Cantó, *Husserl y la crítica de la razón lógica* (2010)
- 227 Juan Fernando Sellés, *Los filósofos y los sentimientos* (2010)
- 228 Hugo Costarelli Brandi, *'Pulchrum', Origen y originalidad del 'quae vista placent' en Santo Tomás de Aquino* (2010)
- 229 Lorenzo Vicente Burgoa, *La filosofía del juicio según Tomás de Aquino* (2010)
- 230 Rafael Tomás Caldera, *Entender es decir* (2011)
- 231 Emilio Vicuña Zauschkevich, *Para una fenomenología de la acción* (2011)