

REUNIÓN CONJUNTA SOBRE
“FILOSOFÍA DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA”



Instituto de Estudios de Ciencia y Tecnología “Amílcar
Argüelles”

Centro de Estudios Filosóficos Eugenio Pucciarelli

“FILOSOFÍA DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA”

*Reunión conjunta organizada por el Instituto de Estudios de
Ciencia y Tecnología
“Amílcar Argüelles” y el Centro de Estudios Filosóficos Eugenio
Pucciarelli, de la
Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires,
el 18 de junio de 2015*



Instituto de Estudios de Ciencia y Tecnología “Amílcar
Argüelles”
Centro de Estudios Filosóficos Eugenio Pucciarelli

Walton, Roberto J.

Filosofía de la ciencia y la tecnología / Roberto J. Walton ; Fausto T. Gratton ; compilado por Luis A. de Vedia ; Roberto J. Walton. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires, 2016.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: online

ISBN 978-987-537-142-2

1. Ciencia. 2. Filosofía. I. Gratton, Fausto T. II. de Vedia, Luis A., comp. III. Walton, Roberto J., comp. IV. Título.

CDD 501

Fecha de catalogación: 04/2016

Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires

Instituto de Estudios de Ciencia y Tecnología “Amílcar Argüelles”

Centro de Estudios Filosóficos Eugenio Pucciarelli

El presente trabajo se encuentra disponible sólo en versión electrónica

© Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires

Av. Alvear 1711, 3º piso – 1014 Ciudad de Buenos Aires – Argentina

www.ciencias.org.ar

correo-e: info@ciencias.org.ar

La publicación de los trabajos de los Académicos y disertantes invitados se realiza bajo el principio de libertad académica y no implica ningún grado de adhesión por parte de otros miembros de la Academia, ni de ésta como entidad colectiva, a las ideas o puntos de vista de los autores.

ISBN 978-987-537-142-2

ÍNDICE

Dr. Ricardo Gómez: La dimensión valorativa de las ciencias.....	6
Dr. Ing. Héctor Gustavo Giuliano: Tecno-optimismo vs. tecno-pesimismo: La filosofía de la tecnología en la encrucijada.....	19
Ing. Luis A. de Vedia: Realismo Científico y el status ontológico de las entidades inobservables en la física.....	31
Dr. Jorge A. Roetti: Los principios lógicos y su fundamentación.....	69
Dr. Javier Legris: Sobre diagramas, fórmulas y texto en la filosofía de las ciencias formales.....	85

LA DIMENSIÓN VALORATIVA DE LAS CIENCIAS California State University, Los Angeles

Por Ricardo J. Gómez

Los filósofos, desde siempre, han enfatizado que en filosofía las preguntas son más importantes que las respuestas. Esto se pone de relieve con renovado vigor en la filosofía contemporánea de las ciencias pues en ella se han introducido cambios importantísimos caracterizados principalmente por cambios decisivos en las preguntas que se pretende contestar. Así desaparecen, por ejemplo desde 1960, viejas y cruciales preguntas acerca de la estructura, contenido y método de las ciencias y cobran renovado vigor cuestiones acerca del objetivo, progreso y racionalidad de las ciencias. Justamente la desaparición de unas y el renovado énfasis en las últimas dando lugar a nuevas y heterodoxas respuestas permite distinguir entre concepciones standard (positivismo lógico y popperianismo) y no standard (como las de Kuhn y Feyerabend, entre otras) de las ciencias.

Sin embargo, creemos que un cambio más que crucial es el que ha acaecido en los últimos veinte años, aunque estaba preanunciado por ciertos problemas y posturas de figuras como Carnap, Neurath, Hempel, Kuhn y Feyerabend. Dicho cambio es acerca de la relación entre ciencia y valores.

Puede afirmarse que la pregunta acerca de tal relación no es nueva, pero las respuestas son las que han cambiado radicalmente.

Una de las posturas más comunes, tanto que se la puede llamar 'clásica u ortodoxa' es afirmar que "la ciencia es valorativamente neutra y lo es porque si no fuera así no sería objetiva". Cualquiera se plantea inmediatamente como puede afirmarse la no presencia de valores en la ciencia, cuando es

obvio que desde el planteo mismo acerca de cuáles problemas se van a intentar resolver y/o cuáles aplicaciones han de priorizarse, intervienen intereses, algunas veces conflictivos, los que dan lugar a preferencias las cuales se adoptan en función de determinados valores, no sólo internos a la actividad científica misma o epistémicos (como verdad, simplicidad, capacidad predictiva) sino también obviamente externos o no epistémicos (como valores económicos, políticos y sociales) .

Sin embargo, la disputa cobra sentido y relevancia cuando se recuerda que la actividad científica es compleja. Una dimensión de dicha complejidad está dada por la distinción entre contextos de descubrimiento, prosecución, justificación y aplicación. Nadie niega la presencia de valores de todo tipo en los contextos de descubrimiento (¿qué buscamos descubrir? ¿por qué nos interesa investigar el mal de Chagas y descubrir una cura del mismo en vez de investigar cómo enviar un argentino a Marte?) , prosecución (¿por qué nos interesa seguir investigando en una cierta área en vez de en otra o dentro de una teoría en lugar de en otra?) y aplicación (¿por qué preferimos aplicar determinados resultados de la investigación en vez de otros?).

Hacia el reconocimiento de la presencia de valores en la actividad científica

El gran debate acerca de la neutralidad valorativa de las ciencias tiene lugar en el contexto de justificación. Aquí nos preguntamos por qué aceptamos/rechazamos una determinada hipótesis o teoría. La respuesta tradicional y dominante (especialmente por parte de científicos y filósofos empiristas de las ciencias) es “por buena lógica y evidencia empírica”.

Más claramente: para aceptar/rechazar una hipótesis o teoría justificadamente (por buenas razones) debe sometérsela a testeo empírico el cual consiste en (a) derivar consecuencias observacionales de la hipótesis o teoría , las cuales constituyen su evidencia empírica y establecer según ello, si se la acepta o rechaza. Para esto último basta establecer mediante la lógica inductiva (en el caso de los positivistas lógicos) la probabilidad de que la hipótesis sea verdadera de acuerdo a dicha evidencia empírica, lo cual nos provee de un número real entre 0 y 1 al que llaman “grado de confirmación” de la hipótesis de acuerdo a dicha

evidencia. Popper y sus acólitos hablan de que basta la lógica deductiva para establecer el grado en que la hipótesis resiste a los intentos del científico de refutarla. Se obtiene así un número real entre 0 y 1 al que llaman “grado de corroboración”.

Es fundamental reiterar que lo más importante es que para ambos, positivistas y popperianos, tal número entre 0 y 1 obtenido relacionando la evidencia empírica a la hipótesis o teoría correspondiente es necesario para decidir por la aceptación o el rechazo de la hipótesis o teoría.

Pero, ¿es suficiente? Es allí donde hay al menos tres respuestas distintas :

(a) Empiristas, en general, dan una respuesta afirmativa: Sí, bastan.

(b) Los positivistas lógicos del ala izquierda del Círculo de Viena (Carnap, Neurath y Frank) sostienen que esas dos razones (buena lógica y evidencia empírica) no bastan. El número real entre 0 y 1 que mide la probabilidad de que la hipótesis o teoría sea verdadera de acuerdo a la evidencia empírica no es suficiente (una hipótesis con un grado de confirmación de 0,8 en biología o teoría de los viajes espaciales puede ser aceptada en un caso –el de la biología si es acerca de la probabilidad de que una droga cure el cáncer– pero no en la de los viajes espaciales –si el costo de los mismos exceden todos los límites del presupuesto económico). Se necesitan “motivos auxiliares”(Neurath) o “elementos volicionales”(Carnap) como “el interés primigenio en la preservación de la vida humana ” o “no exasperar al público dedicando fondos para alcanzar objetivos no considerados supremos en un determinado grupo social”. Es por eso que Frank afirma que “hay una variedad de razones –no reducibles a buena lógica y evidencia empírica para aceptar teorías científicas entre las que intervienen por supuesto la lógica y evidencia empírica pero donde la historia muestra que es necesario agregar la consistencia con otras teoría de la época, la concepción del mundo y de la vida de un determinado momento (como en el caso de la disputa entre Galileo y la Iglesia acerca de la aceptación del sistema heliocéntrico o entre científicos y simpatizantes del nuevo creacionismo acerca del origen y desarrollo del universo y las especies naturales). Pero, es imprescindible resaltar que ni Carnap, ni Neurath ni Frank hablaron de valores al referirse al

plus imprescindible a agregar a la evidencia empírica para decidir por la aceptación/rechazo de una hipótesis y teoría.

En verdad, Carnap lo hizo al final de su vida. Pero de una manera muy especial. Todo empirista evita hablar de valores porque ellos aceptan la vieja dicotomía del empirismo británico sacralizada por la distinción humeana entre juicios de hecho, los cuales son, según ellos, objetivos, y los juicios de valor, los cuales son irredimiblemente subjetivos. Pero, para salvaguardar la innegociable objetividad de las ciencias era imprescindible evitar la presencia de cualquier juicio de valor en ellas. Carnap estaba de acuerdo con todo ello. Sin embargo, introdujo otra distinción: entre juicios absolutos de valor y juicios condicionales de valor. Estos últimos (como “la aspirina es buena para paliar el dolor de cabeza” son siempre juicios medios-fines y establecen la funcionalidad del medio como condición para alcanzar un fin. Por lo tanto pueden ser elucidados empíricamente, en particular por una ciencia como la psicología entendida como ciencia de la conducta humana. Es decir que, en última instancia, estos juicios condicionales de valor son discutibles y decidibles por la ciencia empírica. Los juicios involucrando elementos volitivos y motivos auxiliares son de tal tipo (pues son en última instancia juicios de preferencia o utilidad). Por lo tanto, no habría intromisión de juicios subjetivos, y quedaría salvada la objetividad científica. Obviamente, los juicios absolutos de valor (como “Dios es perfecto” o “la madre Teresa es buena”) al no ser de medios-fines no son elucidables empíricamente y permanecen como ineludiblemente subjetivos y, por ende, fuera del ámbito científico.

(c) Esta es la respuesta más importante que constituye una ruptura cualitativa con el pasado: No basta. Siempre es necesario tomar en cuenta además de la lógica y evidencia empírica valores epistémicos y no epistémicos.

Usualmente, hablar de las ciencias era hablar de “las teorías científicas” o sea del producto final de una larga, compleja y multidimensional actividad llevada a cabo por seres humanos para alcanzar determinados objetivos (al menos el de resolver determinados problemas contestando a determinadas preguntas). La discusión anterior es importante porque muestra que incluso reduciendo el concepto de ciencia al de teoría científica, los juicios

de valor –salva la dicotomía humeana discutida brevemente– intervienen en el contexto de justificación y no todos son epistémicos (¿o el valor de la vida humana o el de la correcta distribución de los fondos de acuerdo a un grupo social no son ejemplos paradigmáticos de valores externos, contextuales o sea no epistémicos?).

La concepción no standard de las ciencias iniciada por Kuhn en 1962 con “La estructura de las revoluciones científicas” (el libro del área más importante del siglo XX de acuerdo a Hilary Putnam) gira la mirada hacia la actividad científica llevada a cabo por un sujeto no individual sino por la comunidad científica regida por una nueva unidad metodológica, los paradigmas quienes entre sus ingredientes contienen valores epistémicos como verdad rigurosa y exacta (*accuracy*), simplicidad, predictividad, consistencia: y amplitud abarcadora. Pero, al decir de Kuhn estos standards funcionan “no como criterios sino como valores” lo cual significa que cada grupo científico los evalúa, es decir los jerarquiza de distinta manera. Por ejemplo, para Newton y los newtonianos la verdad precisa y rigurosa y la predictividad estaban al tope, mientras que para Einstein el valor supremo era la simplicidad.

Luego, es innegable la presencia de valores no epistémicos, contextuales incluso autobiográficos en la tarea de elegir entre hipótesis y teorías. Este es uno de los aportes decisivos de ruptura con la tradición standard. Obsérvese, además, que la noción de paradigma atraviesa la división entre contextos porque la actividad científica normal es actividad de solución de problemas y en ello intervienen cuestiones de todo tipo y contexto. Ya podemos afirmar la presencia de valores no epistémicos, contextuales en las ciencias sea cual sea la unidad metodológica de análisis y el contexto.

Esta ruptura con la tradición acerca de la presencia de valores contextuales se fue profundizando y expandiendo de manera más explícita. El ejemplo más obvio y representativo de tal ruptura coincide con la introducción del cisma más profundo y relevante con la unidad metodológica de análisis presente en la propuesta de Ph. Kitcher al introducir la noción de “práctica científica”.

Kitcher distingue entre “práctica individual y práctica consensuada”. Ambas son “una entidad multidimensional cuyos componentes son los siguientes :

1. El lenguaje que el científico usa en su trabajo profesional.

2. Las preguntas que identifica como los problemas significativos del área.

3. Los enunciados (diagramas, representaciones gráficas) que acepta acerca del tema elegido dentro del área.

4. El conjunto de esquemas que subyacen a los textos que el científico consideraría como explicativos.

5. Los ejemplos standard de informantes creíbles más los criterios de credibilidad que el científico usa al evaluar las fuentes potenciales de información relevantes a la temática.

6. Los paradigmas de observación y experimentación, junto con los instrumentos y herramientas que el científico considera confiables , así como sus criterios de experimentación, observación y confiabilidad de los instrumentos.

7. Ejemplares de razonamiento correcto (e incorrecto) junto a los criterios para aceptar los enunciados propuestos (la metodología del científico).” (1993, 74)

Es obvia la mayor multi-dimensionalidad y complejidad de esta nueva unidad de análisis. Por ejemplo, en las versiones empiristas del conocimiento científico, sólo 1,3,4 y 7 son tomados en consideración, mientras que explícitamente la teoría o unidad de análisis está constituida por 3 y las consideraciones metodológicas por 7. Es aún más obvio que cada uno de estos siete componentes involucran la presencia y uso ineludible de valores contextuales Dado un objetivo o verdad que se exige como objetivo por su relevancia en un determinado contexto, se adopta un determinado vocabulario en el cual sus expresiones deben ser fieles a los intereses y preferencias de los científicos en relación a la consecución de dicho objetivo. Kitcher propone que las categorías a utilizar organizan la naturaleza de acuerdo a nuestros intereses pasados que determinan nuestros intereses en el presente. Además, la verdad fundamentalmente es relevante para un grupo determinado en tanto es acerca de un cierto problema presentado como la pregunta significativa fundamental que da lugar y es subsidiaria de otras preguntas significativas.

Kitcher enfatiza al respecto, que puede hablarse de significatividad epistémica y significatividad práctica, pero nunca puede caracterizarse la primera sin tomar en cuenta valores no epistémicos. Para Kitcher, a su vez, los esquemas explicativos constituyen el ingrediente más importante de las prácticas individuales y de las que se obtienen por consenso entre los científicos que discuten interactivamente sus prácticas individuales. Dichos esquemas explicativos permiten guiar la tarea para responder a la pregunta crucial, ¿por qué? Hay aquí una dependencia de los estilos explicativos elegidos y del tipo de problema elegido como significativo respecto de determinados valores entre los cuales nunca faltan los propios del contexto eventual de investigación. Hay que destacar de (5) que en el modo en que lo propone Kitcher enfatiza en qué consiste usualmente la tan mentada evidencia empírica. Poquísimas veces consiste en los resultados de la propia tarea teórico-experimental del investigador, sino que usualmente es la toma de la información confiable. Es esta confiabilidad la que toma en cuenta el prestigio, honestidad y pertinencia de la tarea de los investigadores de los que toma la información la que inclina al científico a aceptar cierta información “utilizable” como evidencia empírica objetiva. El carácter conceptual-experimental o teórico-práctico de la investigación salta a la vista en (6). La palabra clave es “confiabilidad” pues remite a ¿en quién? , “¿por qué?” y “¿para qué?” cuyas respuestas apuntan a preferencias basadas en criterios valorativos contextuales, porque pueden variar de problema a problema, de temática a temática, de condiciones de todo tipo que permean la investigación y de circunstancia histórica a circunstancia histórica,. Finalmente, la dimensión metodológica de una práctica mentada en (7) explicita la necesidad de criterios para evaluar los enunciados, la cual en Kitcher, como en pocos, siempre involucra la presencia de valores contextuales. Esta es la dimensión de una práctica científica especialmente discutida por el empirismo y ya vimos que incluso en el mismo (Carnap, Neurath, Frank) había reconocimiento de factores extra-lógicos y de evidencia empírica.

En los siete componentes de una práctica los valores epistémicos presentes están relacionados y balanceados por intereses prácticos. Por ejemplo, el interés en resolver un

problema puede interferir con el bienestar de algún grupo de la sociedad.

En torno al mito de la necesidad de la libertad de la investigación científica

Todo conduce a afirmar que, estrictamente hablando, no hay investigación libre o pura, en el sentido de investigación independiente de valores de todo tipo, especialmente contextuales.

Ello refleja la historicidad de las ciencias (ética, económica, política, social) y el carácter mítico de la pureza pues no hay una a-histórica significatividad epistémica. Además, el abandono de tal mito invita, junto a Mill, a considerar la conveniencia de restricciones en toda investigación científica pues, al llevar a cabo una investigación sin restricciones podemos interferir con la libertad de otros miembros de la sociedad. Más claramente: Kitcher cree que el derecho a la investigación libre no es más fundamental que el derecho de aquellos que sufren a ser protegidos respecto de investigaciones que refuercen los prototipos (por ejemplo, que la raza negra es inherentemente inferior). Mill es otra vez quien lo inspira a afirmar que la libertad de la investigación no es siempre buena o irrenunciable. Debe aclararse que Kitcher no propone ni defiende tipo alguno de censura pública sino que debe ser un “imperativo moral” para cada científico el calibrar las consecuencias morales de su investigación.

Todo ello ha de colaborar a democratizar la investigación para que sea consistente con la democracia en la sociedad algo que Kitcher valora como algo preferible a cualquier otra alternativa.

Ciencia valores y objetividad

La presencia de valores es ineludible porque los científicos hacen elecciones de acuerdo a sus preferencias, las cuales suponen valores entre los que se elige. Dichas elecciones implican siempre la posibilidad de cometer errores, los que para sopesarlos, requiere asignar valores a sus consecuencias. En todo ello, siempre hay incerteza y riesgo. Siempre se menciona que

hay dos tipos de errores relacionados con la incerteza y los riesgos de la investigación . Los errores de tipo 1 son los que ocurren cuando se rechaza una hipótesis verdadera, y los de tipo 2 cuando se acepta una hipótesis falsa. En la investigación aplicada y relevante para el público en general se prefiere correr el riesgo de cometer errores de tipo 1 (rechazar una hipótesis verdadera), mientras que en la investigación previa a sus aplicaciones se prefiere correr el riesgo de cometer errores de tipo 2 (aceptar una hipótesis falsa). Entre los valores que intervienen en estas decisiones hay siempre valores no epistémicos que están enraizados profundamente en los intereses o metas más amplios de la comunidad. Todos ellos son contingentes, susceptibles de cambio y, por ende, variables históricamente.

Es común afirmar que en dichas elecciones, la decisión correspondiente depende de la evidencia empírica. Lo que sucede es que los valores no epistémicos siempre forman parte de la misma, pues todo enunciado descriptivo está preñado por términos con componente valorativo, al depender de lo que se quiere decir, a quiénes, etc. El lenguaje, incluyendo el de la evidencia empírica es un lenguaje híbrido de descripción y evaluación.

Además en la argumentación para testear una hipótesis y teoría usando dicha evidencia empírica, se realizan inferencias que permitan distinguir entre “tests buenos” y “tests malos”, “explicaciones adecuadas e inadecuadas”, calificativos que presuponen siempre la dimensión valorativa relativa a temática, objetivos, preguntas significativas, material instrumental-experimental, en donde, como señaló Kitcher, no existe la influencia de lo puramente epistémico.

No debe olvidarse en este contexto de la discusión la validez de la tesis pragmatista de que “todo juicio de hecho presupone juicios de valor” como, por ejemplo, en la adopción de un determinado vocabulario o como es obvio que sucede en los supuestos asumidos en los principios de una teoría científica (la economía neoliberal es un mega-caso paradigmático de ello), y, conversamente de que “todo juicios de valor presuponen juicios de hecho”. Es decir que, por ejemplo, lo factual puede apoyar a juicios de valor. Un enunciado considerado verdadero como “la

droga es segura” es evidencia empírica del enunciado “hay buenas noticias para los pacientes”.

Por lo tanto, los juicios de hecho y de valor no ocupan esferas distintas. Están integrados en la misma red de creencias. En las reconstrucciones llamadas paradójicamente racionales del conocimiento científico, al exigirse la sistematización deductiva de los enunciados en las teorías, se han dejado de lado los juicios de valor. De ahí el carácter revelador que tiene la adopción de otras unidades de análisis como los paradigmas o las prácticas científicas. Ahora queda claro que mientras que en el caso de las teorías los juicios de valor aparecen en el momento de la decisión acerca de aceptar o rechazar según la evidencia empírica, en las de práctica científica aparece en todos los momentos de la misma incluyendo el de la justificación de la aceptación o rechazo de los enunciados.

Hay ciertas preguntas claves que debemos responder para evitar malentendidos y ser los más claros posible.

(a)¿Es siempre bienvenida la presencia de valores no epistémicos? No lo es sólo si dichos valores obstruyen u ocultan el logro de la verdad. Influencian positivamente la investigación sin entrar en conflicto con los valores epistémicos sólo si estos no determinan completamente los resultado del testeo empírico (las recomendaciones de Carnap y Neurath para el uso de valores contextuales es un caso particular de ello). Obviamente, nunca se debe tolerar que el uso de valores no epistémicos involucre la violación de valores epistémicos.

(b)¿Cuándo es legítimo el uso de valores no epistémicos? La respuesta viene dada por el siguiente criterio de legitimidad: Los valores no epistémicos no deben operar para dirigir la investigación a resultados pre-determinados. Dichos valores no deben guiar la investigación de manera tendenciosa o sesgada. La violación de este criterio es la tragedia del lisenkoismo, al que por supuesto, nuestra propuesta condena por violar el requisito del uso legítimo de los valores no-epistémicos.

(c)¿Es positiva o dañina la presencia de valores no epistémicos para el ideal de la buena ciencia? La no presencia sería mala para la ciencia porque ocultaría algo que actualmente está presente; además, la toma de conciencia de cuáles son los valores intervinientes permite una mejor visión de los

desacuerdos, una resolución más rápida de ellos, cuya explicitación permitiría que el público tenga más claro cuáles deben ser los valores a respetar ante un problema relacionado con la investigación científica o con su uso en las políticas públicas.

(d)¿Cuáles valores hacen avanzar la ciencia? La respuesta depende del contexto y para responderla en cada caso se requerirá de la investigación empírica.

Debe ahora quedar claro que la presencia de valores en la investigación científica no atenta contra la objetividad de la misma. Es decir, debe atacarse la nefasta identificación de dicha objetividad con la neutralidad valorativa, o más precisamente con la inexistencia de valores no epistémicos.

En última instancia, lo que sucede es que es históricamente falso y cognitivamente reduccionista limitar tendenciosamente la noción de objetividad asimilándola a la de libertad valorativa. Hubo y hay diversos usos de los propios científicos de la expresión “objetividad”. Por ejemplo, en algunos casos se afirma tal noción a los objetos o hechos cuando se afirma que es objetivo porque se arriba al mismo por distintos modos, en otros casos se predica objetivo de un cierto conocimiento cuando se identifica “objetivo” con “impersonal” o “desinteresado” requiriendo ahora, para que un conocimiento sea objetivo que se obtenga o justifique sin usar valores del individuo o grupo en el testeo empírico. En otros casos, también refiriéndose a una propiedad de los objetos, cuando se afirman que ellos existen realmente independientemente de los sujetos que investigan, y, por si esto fuera poco, se habla también en sentido objetual-factual cuando objetivo se asimila a “públicamente accesible” (Lloyd). Estos sentidos y usos no son equivalentes. En un caso determinado, puede ser aplicable alguno de dichos sentidos y no otros. Mi conciencia, por ejemplo, es objetiva –en el sentido de existiendo realmente- pero no lo es –en el sentido de ser públicamente accesible.

El sentido más importante y más usado hoy es aquel en que “objetivo” es caracterizado como “acuerdo o consenso alcanzado por la discusión crítica interactiva”.

Por lo tanto, no se puede reducir lo que existe a aquello a lo que se arriba objetivamente, identificándose ello con el uso del

método apropiado de modo impersonal, desinteresado. Hacer ello, fue algo aceptado por la tiranía de una única versión oficial del conocimiento científico y de la investigación conducente al mismo que hoy está en crisis y debe ser abandonada, por dejar de lado toda intervención de los sujetos investigadores en la actividad científica así como las consideraciones sociales de todo tipo que entran en juego en la investigación. Otra vez, la excusa es el respeto a la racionalidad-objetividad científica ahora más claramente que nunca identificada de modo parasitario respecto de las dicotomías racional-social, objetividad-carga valorativa. Hemos visto ahora que esta segunda dicotomía es falsa ya por el hecho de que incluso y principalmente los científicos usan la palabra “objetividad” sin reducirla necesariamente a “libertad valorativa”.

Nadie como Helen Longino caracterizó a la objetividad científica de modo más coherente con nuestra posición. Para ella, la objetividad está caracterizada por el carácter social de la investigación porque el mismo hace posible chequear, cuando es necesario, los posibles sesgamientos personales de la investigación permitiendo, dado el caso, bloquear la influencia de preferencias subjetivas, condición *sine qua non* de la objetividad científica. Para ello, nada mejor que la discusión crítica interactiva de la cual no queda excluida la discusión acerca de valores.

No extraña pues que Longino afirme que el conocimiento es objetivo si se obtiene por discusión crítica interactiva, el método es objetivo en la medida en que permite tal criticismo, la comunidad es objetiva si satisface las siguientes condiciones: (i) si dispone de estructura institucional para permitir y facilitar tal discusión –como revistas especializadas, asociaciones, etc., (ii) así como de standards compartidos de crítica, (iii) requiere que se responda a toda crítica, y (iv) la autoridad intelectual sea compartida igualitariamente. Finalmente, los individuos son objetivos si participan activamente en el toma y daca de la discusión crítica.

Esta muy rica caracterización implica que, según Longino, la objetividad sea una cuestión de grado y que cuanto mayor la cantidad de puntos de vista participando de la discusión crítica, mayor la objetividad.

Más importante aún es remarcar que su postura evita la dicotomía racional-social, porque la objetividad exige participación social en la que el proceder sea en términos de las mejores razones; ni las normas de inferencia quedan en principio fuera del contexto social.

En consecuencia, la presencia de valores contextuales propios de cada entorno social no atenta ni contra la objetividad ni contra la racionalidad, sino que la enriquecen, haciendo explícita la dimensión práctica de las mismas. En tanto hay presencia ineludible de valores contextuales, la razón y objetividad científica no son sólo teóricas sino necesariamente práctico-evaluativas. Hay que enfatizar aquí la importancia de la racionalidad de fines, por ejemplo, para establecer si lo que se desea es realmente deseable, lo que se prefiere, preferible, etc. Es decir que la racionalidad no es sólo racionalidad instrumental de medios a fines, sino también y crucialmente racionalidad de los fines. Al respecto, los fines deben ser apropiados, y los medios “adecuados” para alcanzarlos. Los fines están ligados a intereses y estos son válidos si pueden estar subordinados a los intereses generales de la gente (como salud, recursos de calidad de vida, conocimiento, información, libertad operativa). Todos ellos deben ser funcionales a un fin último irrenunciable: la reproducción de la vida en plenitud. Sólo así conseguiremos aproximarnos a lo que Aristóteles llamó “florecimiento humano”.

Sin duda, ahora podemos concluir con Robert Nozick que “la ciencia es objetiva por los valores de que está infusa”.

TECNO-OPTIMISMO VS. TECNO-PESIMISMO: LA FILOSOFÍA DE LA TECNOLOGÍA EN LA ENCRUCIJADA

POR HÉCTOR GUSTAVO GIULIANO¹

Día tras día nos encontramos, como sociedad y como individuos, mediados por objetos y sistemas artificiales que comparten nuestra realidad cotidiana e influyen sobre nuestras formas de vida. Ante este hecho naturalizado en la cultura de los núcleos urbanos contemporáneos, tardíamente en entrar a escena pero adoptando una cada vez más intensa actividad intelectual, se despliegan en el panorama académico investigaciones que indagan sobre las características de la tecnología y las consecuencias sociales de la artificialidad que este saber construye.

Suele atribuirse la demora en la reflexión sistemática sobre la técnica a la fuerte impronta, heredada del positivismo, de ligar de manera inequívoca tecnología con progreso social, relación que sólo pudo empezar a ser cuestionada abiertamente ante la inaudita experiencia de la maquinaria bélica de la segunda guerra mundial, especialmente los campos de

¹ Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica Argentina. gustavo_giuliano@uca.edu.ar

exterminio y las dos bombas atómicas que desolaron, en un instante, las ciudades de Hiroshima y Nagasaki.

Puede parecer entonces que la reflexión sobre la tecnología es fruto de la hecatombe, de la catástrofe, del peligro. Sin embargo esta situación, absolutamente lógica y necesaria, enmascara el hecho, ya no tan obvio, de que los sobreentendidos como aspectos positivos también deben ser objeto de análisis: ¿son efectivamente benéficos o se trata de una suerte de ilusión o alienación colectiva?, ¿son viables de sostenerse en el tiempo o suponen un riesgo para las generaciones venideras y el ambiente?, ¿tienen igual posibilidad de acceso a ellos todos los miembros de la sociedad o generan exclusión?, ¿son funcionales al sostenimiento de un orden político y económico en particular?

Coexisten en la actualidad miradas que responden a este tipo de cuestiones de maneras disímiles, incluso antagónicas e irreconciliables entre sí. En esta disertación se hará una aproximación a esta complejidad relevando dos grandes corrientes que circulan sobre la tecnología: la que argumenta que el desarrollo tecnológico tiene características autónomas y la que defiende que el proceso es susceptible de ser social y políticamente controlado. En ambas hay lugar para optimismos y pesimismo.

Los que apoyan la autonomía sostienen que la tecnología sigue una línea de progreso autorreferenciada que determina “natural e inevitablemente” el camino de la evolución humana. Entre ellos se encuentran posiciones optimistas que consideran que las consecuencias no previstas de la innovación son

contingentes y serán resueltas con más y mejor tecnología, de acuerdo con las características propias de un proceso evolutivo autorregulado; y otras, de fuerte corte pesimista, e incluso fatalista, que asignan valores negativos al desarrollo tecnológico el cual, contrariamente a sus promesas de libertad, terminará vaciando y esclavizando la vida del hombre.

Por su parte, las escuelas que admiten la posibilidad de control se dirimen entre aquellas posiciones que consideran que la tecnología es un instrumento neutral, cuyo carácter positivo o negativo depende del uso que le asignen las personas, y las que enmarcan a la tecnología en sí misma dentro del terreno de lo político afirmando que ya en la etapa temprana de diseño se ponen en juego valores que condicionan decisivamente la cultura. Según esta última mirada, abrir el diseño a la participación ciudadana es condición necesaria para legitimar la construcción de la artificialidad tecnológica.

La imagen de la tecnología como fuera de todo control humano suele ser sustentada desde variados ángulos. Desde la visión más trivial, representada por algunas historias de ciencia ficción en las que las máquinas han ganado vida propia y se enfrentan a la raza humana con variadas intenciones y resultados; pasando por otras, de mayor peso académico, que atribuyen a los programas de investigación y a los sistemas de innovación un régimen muy complejo, de tipo anárquico, que lleva a una imposibilidad pragmática de orientar su rumbo. La más profunda es aquella que encuentra en la esencia misma de la tecnología una dinámica autónoma.

Para que exista determinismo tecnológico se deben cumplir dos condiciones: que el cambio social se encuentre definido causalmente por fenómenos o leyes anteriores al presente y que la lógica de estas leyes dependa necesariamente de características de la tecnología o que ésta sea su vehículo. Las ideas sobre la historia de Karl Marx suelen ser empleadas para ilustrar esta mirada determinista sobre la técnica. Si bien existen una variedad de matices que se siguen discutiendo aún hoy, en líneas muy generales puede decirse que para el materialismo histórico el despliegue de las fuerzas productivas constituye el contenido material de una sociedad cuya forma social viene dada por las relaciones de producción resultantes. Este desarrollo es irreversible en el sentido histórico de que las sociedades no reemplazan fuerzas productivas superiores por otras inferiores. Por un lado al implantarse un nuevo sistema se va perdiendo el conocimiento sobre el que se sostenía la técnica anterior, y por otro, el nuevo sistema genera nuevas necesidades que el sistema anterior no resuelve: una vez que se empiezan a utilizar los ferrocarriles es difícil volver a los vehículos tirados por caballos, en parte porque después de un tiempo la población de caballos disminuye y oficios tales como el fabricante de coches de caballo o el mozo de cuadra desaparecen, pero también porque es difícil renunciar a la mayor movilidad que permite el ferrocarril.

En cuanto a las versiones de corte más pesimista quizás el pensador que más ha arriesgado en esta dirección, junto con Jacques Ellul, sea Martin Heidegger. Según su posición la esencia de la técnica no radica en algo técnico, ni tampoco en un hacer del hombre ni en un medio dentro de ese hacer. Su esencia, lejos de esta superficie, se encuentra en un modo particular de “desocultamiento”, en un “traer ahí delante” una presencia que no estaba disponible antes de la intervención humana. Siempre

la técnica tuvo este trasfondo, puesto en acto a través del trabajo eficiente del artesano que moldea la materia con una forma apta para alcanzar un fin, y que trae de este modo al mundo la presencia un nuevo objeto. Pero la tecnología moderna agrega a este hecho una nueva cuestión de actitud, el desocultar pasa a tener ahora la característica de ser además un “emplazar”, una “provocación que pone ante la naturaleza la exigencia de suministrar energía que como tal pueda ser extraída y almacenada”; y no es cualquier provocar, sino un provocar “hacia la máxima utilización con el mínimo gasto”. Lo así desocultado queda de esta forma en modo de “existencia”, en reserva, un eslabón a la espera de ser solicitado dentro de una cadena inagotable de solicitudes.

Lo particularmente inquietante de esta tesis, es que esta acción no acontece de modo decisivo por una voluntad humana sino que el hombre se encuentra a su vez emplazado a actuar de este particular modo. Sii no es sólo por él, ¿quién provoca al hombre a actuar de esta forma sobre el mundo? Para Heidegger se trata de un “sino” en el sentido de lo destinado. La esencia de la técnica, que descansa en la estructura de emplazamiento, pertenece al “sino del hacer salir lo oculto”. No hay posibilidad alguna de escapar a esta exhortación. De aquí la importancia que el filósofo alemán atribuye al desarrollo del pensar reflexivo por sobre el pensar instrumental, única garantía ante el “peligro supremo” representado por la técnica moderna.

Como hemos mencionado, no todas las miradas autónomas son de corte pesimista. Una posición actual netamente optimista es la sostenida por Raymond Kurzweil quien propone que la evolución tecnológica es una continuación de la evolución biológica. Su idea clave es que la velocidad de

cambio de la tecnología está acelerando y que sus capacidades están avanzando de una manera exponencial. Según su percepción este comportamiento permitirá trascender los límites de nuestros cuerpos y mentes biológicos y tener poder absoluto sobre nuestro destino, mejorando la inteligencia humana hasta límites que hoy parecerían increíbles. Este hecho representaría la culminación de la unión entre el pensamiento biológico y la tecnología, lo que resultará en un mundo aún humano pero que trascenderá nuestras raíces biológicas. Según sostiene Nick Bostrom, ya no habrá distinción entre humanos y máquinas o entre la realidad y la realidad virtual, se habrá iniciado la era transhumana.

Las posiciones que frente a la autonomía de la tecnología sostienen que se debe poner en marcha una discusión políticamente eficaz que logre relacionar de forma racionalmente vinculante el poder técnico con el querer social, tienen su origen en la Escuela de Frankfurt. Para Jürgen Habermas, si la relación entre poder y voluntad se cumple de forma no reflexiva, queda al servicio de intereses para los que ni se exige ni se permite una justificación pública. Se debe ser capaz de sostener esta relación con conciencia política. La fuerza liberadora de la reflexión no puede ser sustituida por la difusión del saber técnicamente utilizable. A lo largo de su trabajo, desarrolla la idea acerca de que la tecnología debe ser entendida como un proceso instrumental sobre el que se debe actuar desde la esfera política, oponiéndose así abiertamente a la tesis del desarrollo autónomo.

Su objetivo es evitar el avance de la racionalidad técnica sobre la esfera institucional de la vida, en tanto que este avance conduce a una tecnocracia creciente que se autolegitima y que causa una despoltización también creciente de la sociedad,

eliminando la diferencia entre necesidad social y posibilidad técnica. Si bien no es del todo optimista, Habermas supone que esta diferenciación conduciría a un mejor funcionamiento de los sistemas sociales dotando a sus miembros de oportunidades para una emancipación más amplia.

Desde un ángulo más pesimista, Herbert Marcuse, también miembro de la mencionada Escuela de Frankfurt, formula una crítica de la sociedad contemporánea que se niega a aceptar el actual rumbo tecnológico como el contexto final de validez universal. Según su mirada, la tecnología se ha extendido en la sociedad hasta convertirse en un vasto sistema de dominación y coordinación que crea estilos de vida y de poder que no permiten el florecimiento de nuevas formas de organización y de existencia, dejando a la humanidad atrapada en un camino de dirección única. La unión de una creciente productividad junto a una creciente destructividad, la preservación de la miseria frente a una riqueza sin precedentes constituirían la más imparcial acusación: la pomposa racionalidad tecnológica que propaga la eficiencia y la productividad es en sí misma irracional. Sin embargo, y a pesar de la evidencia, mientras no suceda alguna catástrofe que subvierta la conciencia y la conducta, la probabilidad de que el sistema reprima cualquier posibilidad de cambio es muy alta, la sociedad se ha vuelto totalitaria.

Definiendo el orden social imperante en una única dimensión que se extiende a toda la sociedad, la razón tecnológica se ha convertido en razón política. Los productos adoctrinan y manipulan, promueven una falsa conciencia inmune a su falsedad determinando un modo de vida que se opone a cualquier cambio. De este modo, la racionalidad imperante opera en interés de la reproducción de los poderes establecidos. Este

profundo arraigamiento de la razón tecnológica en los hábitos sociales es el responsable de que no alcance con propiciar cambios políticos y económicos para lograr un nuevo modo de existencia social, sino que se necesita también de un cambio en la base técnica sobre la que reposa. La sociedad moderna es una sociedad con fuerte base tecnológica y la tecnología, si bien admite proyectos histórico-sociales alternativos, éstos no pueden ser explorados mientras se sostenga la alienación para con el objeto técnico.

Varias décadas después de estos escritos de la Escuela de Frankfurt la ambivalencia de la técnica se muestra en todo su esplendor. Por un lado, la persistente situación de indigencia y marginación de gran parte de la población mundial junto con la destrucción del medioambiente y su biodiversidad, parecieran validar la más pesimista visión heideggeriana. Pero por el otro, la gran cantidad de conocimientos, técnicas y artefactos valiosos para la humanidad que se han desarrollado, o que prometen hacerlo, tornan necia una condena totalizante y dan una posibilidad al control habermasiano. Esta confusa situación llama a un esfuerzo de integración en tanto que ambas miradas, pesimistas y optimistas, parecieran llevar algo de razón.

En esta búsqueda se enrola la teoría crítica de la tecnología de Andrew Feenberg, para quien es posible reconciliar en un solo marco teórico ambas posiciones si se considera que la esencia de la tecnología no tiene uno sino dos aspectos. Un aspecto, al cual denomina “instrumentalización primaria”, explica la constitución de objetos y sujetos técnicos, y otro aspecto, la “instrumentalización secundaria” explica la incorporación de los objetos y sujetos constituidos en redes técnicas reales. Si bien la instrumentalización primaria caracteriza las posibilidades técnicas en cada sociedad, la

técnica incluye también rasgos que evolucionan históricamente con una segunda instrumentalización que contiene muchos aspectos sociales de la tecnología.

En consecuencia, la tecnología debe ser necesariamente analizada en dos niveles, el de nuestra original relación funcional con la naturaleza y la cultura y el del diseño e implementación, considerando que en ambos niveles intervienen cuestiones objetivas y subjetivas. En el primer nivel se buscan “oportunidades de utilidad” arrancando elementos de su contexto original para ser reducidos a sus propiedades utilizables y sometidos a análisis y manipulación. En el segundo nivel se emplean estos elementos en diseños nuevos o se los integra con otros ya existentes de acuerdo a diversas constricciones sociales, principios éticos y preferencias estéticas. El nivel primario simplifica los objetos para su incorporación en un mecanismo, mientras que el secundario integra los objetos simplificados en un entorno natural y social. Los objetos son así “desmundanizados” para ser vueltos a “mundanizar” en una configuración más compleja.

Es importante notar que los niveles analíticamente distinguidos no necesariamente se encuentran fácticamente diferenciados. Se mira a la naturaleza a través de un filtro técnico teñido por contingencias de la cultura y se mira a la sociedad con un filtro cultural teñido por contingencias de la técnica. Se trata de la constitución de una “jerarquía entramada” que opera por intermedio de sedimentar en “códigos técnicos”, en apariencia neutrales, los valores culturales presentes en el “horizonte de significado” de la época. Horizonte que hoy se encuentra impuesto a modo de colonización por la racionalidad capitalista. En consecuencia, el estrecho enfoque de la tecnología moderna no es una condición metafísica inmodificable sino que satisface las necesidades de una estructura de poder en particular:

En nuestra sociedad la racionalización responde a una definición particular de tecnología como un medio para un fin, la ganancia y el poder. Una comprensión más amplia de la tecnología sugiere una noción de racionalización muy diferente fundada en la responsabilidad de la acción técnica por los contextos humanos y naturales. Llamo a esto “racionalización democrática” porque requiere avances tecnológicos que sólo pueden hacerse en oposición a la hegemonía dominante. Ésta representa una alternativa, tanto a la presente celebración de la tecnocracia triunfante como a la pesimista contrademanda heideggeriana de que “sólo un Dios puede salvarnos de la catástrofe tecnocultural”.

El problema de la tecnología se convierte entonces en cómo hacer que los diseños tecnológicos sean a la vez racionales y democráticos, en cómo evaluar las opciones en un contexto amplio de intereses e incertidumbres y, por último, en cómo lograr que esta racionalidad sea colectiva y libre.

Aquí, nuevamente, hay espacio para optimismos y pesimismos ¿es posible tal control ciudadano? La respuesta para el profesor Feenberg es que sí lo es y que para ello se debe hacer uso del “margen de maniobra” siempre presente en los intersticios del sistema. Los científicos deben acercarse al común de las personas para conocer sus problemas y así poder orientar sus investigaciones, mientras que los ciudadanos legos deben seguir de cerca y controlar a las corporaciones tecnológicas. A pesar de que ambas prácticas se encuentran cada vez más interrelacionadas, se debe mantener un criterio de demarcación claro entre ciencia y tecnología que permita oponerse al término “tecnociencia” por intermedio de establecer políticas diferenciadas.

La respuesta por el no, supone que si la sociedad se encuentra obnubilada por la tecnología capitalista difícilmente será capaz de proponer diseños alternativos por más que se amplíen sus canales de participación. Sucede que para desarrollar las nuevas posibilidades de emancipación hay que empezar por suprimir los mecanismos que reproducen las viejas necesidades. Pero, para suprimir los mecanismos que reproducen las viejas necesidades, ha de existir antes la necesidad o el deseo de suprimirlos. Se torna así evidente el círculo vicioso del que Marcuse, en la apasionada segunda mitad de los años sesenta, sólo veía una salida posible a través del movimiento hippie y las revueltas estudiantiles de Alemania y Francia. Estos grupos minoritarios propulsaban, con su actitud de rebeldía para con lo establecido, un cambio en los valores sociales que podría llegar a forzar la redefinición de las auténticas necesidades humanas. En este lugar de resistencia se ubica actualmente el movimiento decrecentista inspirado en las ideas originales de Ivan Illich hoy retomadas por Serge Latouche. Sus partidarios proponen que se debe acabar con la ideología del crecimiento ilimitado y del consumismo que han reificado en las sociedades capitalistas modernas. Su tesis es tajante: no es posible crecer indefinidamente en un planeta finito.

En definitiva, y como quizás no podría ser de otra manera, las preguntas centrales que surgen como cierre de esta presentación se vinculan con la cuestión axiológica de la acción política. La conjunción de un estado de situación preocupante junto con un panorama intelectual de rutas cruzadas, llama a una toma de posición que permita cuanto menos evitar caer en profecías autocumplidas: si se sostiene la independencia de la esfera tecnológica nada se hará para intentar su control, por lo que la autonomía resultará autoimpuesta. Propiciar en consecuencia alguna forma de intervención, se transforma en

una suerte de apuesta pascaliana sin garantía de éxito, pero éticamente ineludible en un mundo que aún persiste lejos de las metas establecidas por la Organización de la Naciones Unidas para alcanzar un mundo sostenible: propiciar un entorno habitable, económicamente viable y socialmente equitativo para todos los habitantes del globo.

REALISMO CIENTÍFICO Y EL STATUS ONTOLÓGICO DE LAS ENTIDADES INOBSERVABLES EN LA FÍSICA.

POR LUIS A. DE VEDIA*

La idea de “realidad” en la ciencia.

Un concepto que ha generado y continúa generando distintas interpretaciones y posiciones en el ámbito filosófico, es el de “*realidad*”. Esto se debe en buena medida a que este concepto admite efectivamente distintas acepciones. De una manera general, podemos decir que entendemos por “*realidad*” aquello que “*es*”, o en otras palabras, aquello que entendemos que “*existe*”. Pero aquí es donde comienzan los problemas, ya que estamos procurando encontrar el significado de un término recurriendo a otro que también admite diferentes interpretaciones. Para reconocer esto, basta preguntarle a un creyente si “Dios existe”. No cabe duda que para tal persona, la existencia de Dios, y por lo tanto su realidad, está fuera de toda duda aunque seguramente no argumentará que la idea de Dios se refiere a una entidad material cuya existencia pueda ponerse de manifiesto mediante alguna experiencia sensible. Del mismo modo, un platonista convencido nos dirá que las verdades matemáticas tienen una existencia propia, es decir una realidad independiente de quien las exprese o las conciba. Según esta posición, las verdades matemáticas serían descubiertas y no inventadas por el matemático. De manera que desde estos puntos de vista, la idea de realidad no está necesariamente vinculada a la existencia material de una entidad y la existencia de dicha realidad es independiente de la presencia o

* Miembro titular de la Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires, de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales y de la Academia Nacional de Ingeniería. Profesor Titular Ordinario del Instituto de Tecnología (UNSAM-CNEA) y Profesor Consulto Asociado (FIUBA).

intervención de quien la conciba, es decir tiene existencia “*en sí*” en un pie de igualdad a como la tendrían los objetos o entidades que se presentan a nuestra experiencia sensible.

La posición anterior está sin embargo lejos de ser universal. En efecto, para muchos sólo tiene sentido referirse a la *realidad empírica* que está constituida sólo por esas últimas entidades, es decir las que podemos llegar a percibir con nuestros sentidos. Sin embargo, ambas posiciones tienen un elemento en común y éste es la aceptación que el mundo externo a nosotros efectivamente existe y que las observaciones que hacemos del mismo responden a una realidad objetiva independiente del observador. De modo que ambas posturas pertenecen a lo que en filosofía se denomina *realismo*. Sin embargo, mientras que la primera de las posiciones descriptas aceptan la realidad de entidades que no se presentan a nuestra experiencia sensorial, la segunda posición, conocida en filosofía como *realismo representativo*, es la de quienes sostienen que las cosas sólo tienen existencia real si podemos percibir las mediante nuestros sentidos aún aceptando que sólo tengamos conocimiento indirecto de ellas a través de nuestras sensaciones. Es cierto que podemos tener sensaciones tales como la alegría, la tristeza, el dolor, etc., que pueden ser ciertamente intensas, pero que sólo son percibidas mediante nuestro sentido “interno” y por lo tanto claramente no tienen existencia independiente de nosotros por lo que no califican como realidad si nos atenemos a la concepción antes mencionada para este concepto. Según el realismo representativo, carece de sentido referirse a la existencia de aquello que no podemos percibir. Sin embargo, el desarrollo de instrumentos que han llevado nuestra capacidad de observación mucho más allá de los que nuestros sentidos habilitan hace necesario una ampliación del concepto de realidad aún dentro del marco del realismo representativo. Cuando un biólogo hace la observación de una célula a través del microscopio, ¿podemos decir que la célula no tiene existencia real porque no la

percibimos directamente a través de nuestros sentidos sino mediante el uso de un instrumento? Cuando el biólogo afirma

observar una célula a través del microscopio, está tácitamente aceptando un cuerpo importante de teorías sobre la luz, y en particular sobre sistemas ópticos centrados. Estas teorías son las que le permiten justificar un isomorfismo entre la imagen luminosa que percibe en el microscopio y la célula real. De modo que en el realismo representativo, las cosas físicas existen al menos como *causas* de las sensaciones, pudiendo aceptarse que la relación, además de ser causal, es de *semejanza*: las sensaciones son *como* las cosas. El realismo representativo es una especie de "sentido común ilustrado", es decir el paso siguiente al *realismo ingenuo*. Sin embargo, es posible levantar objeciones contra esta postura que son difíciles de rebatir. En particular, la teoría se derrumba cuando consideramos los eslabones de conexión entre las sensaciones y el mundo físico exterior, ya que nuestro conocimiento de los órganos de los sentidos es también indirecto a través de sensaciones. En otras palabras, los órganos de los sentidos se encuentran en la misma condición que el resto de los objetos, de modo que si estos últimos son incognoscibles, también lo serían los primeros. La teoría se derrota a sí misma: el mundo termina disolviéndose enteramente en la mente del observador. Esta posición, que podríamos identificar como *idealismo*, llevada al extremo, caería en el *solipsismo* que llega a aseverar que el mundo es solamente una creación de nuestra mente.

En epistemología suele denominarse al conjunto de datos que percibimos con la mediación de instrumentos de observación, la *base empírica metodológica*, para diferenciarla del conjunto de datos que se presentan a nuestra observación directa y que constituyen la *base empírica epistemológica*. La posición de la gran mayoría de los científicos practicantes es aceptar sin discusión la realidad de los objetos de la base empírica metodológica, aceptando que dichos objetos son *observables*, aunque teniendo en cuenta que la observación de tales objetos se ha hecho en lo que puede llamarse un *sentido amplio*, es decir a través de la mediación de instrumentos (i).

En el marco de la física, hay conceptos cuya realidad, es decir cuya existencia podemos aceptar independientemente de nuestra presencia como observadores, no genera mayormente discusión. Es así que en mecánica clásica aceptamos que la *masa*

que posee un objeto es un atributo real del objeto independientemente del hecho que fijemos o no nuestra atención en él. Lo mismo puede decirse de otros atributos como la *posición*, *velocidad*, *aceleración*, *momento*, *energía*. En buena medida, la aceptación de la realidad de estos conceptos deriva de que los mismos son definidos en términos del lenguaje vulgar que utiliza conceptos simples derivados de nuestra experiencia cotidiana y sobre cuya realidad no tenemos duda, tales como objeto material, espacio, tiempo y fuerza. Observemos que en la mayoría de los casos, para expresar magnitudes físicas, recurrimos a lo que se conoce como *definiciones operacionales*. Una definición operacional es un conjunto de instrucciones que describen las *operaciones* que es necesario realizar para establecer el concepto que se intenta definir. La forma lógica de una definición operacional es la siguiente: “*por definición, el objeto bajo consideración tiene la propiedad x, si cuando actuado en la forma y, se observa el resultado z*”. De acuerdo con esto, podemos definir por ejemplo la masa unitaria como la propiedad de un cuerpo que hace que cuando se le aplica una fuerza unitaria, adquiere una aceleración también unitaria. Es fácil verificar que en la definición de las magnitudes arriba mencionadas subyace una definición operacional y surge que este tipo de definición juega un rol esencial en la física contemporánea.

Debemos decir que el concepto de definición operacional está sin embargo más ligado a la *teoría del significado* que a la de *existencia*. Una posición filosófica denominada *operacionalismo*, adopta el punto de vista que un concepto o una proposición sólo adquieren significado cuando es posible definirlos operacionalmente. Si bien es posible adherir a posiciones más débiles respecto del concepto de significado, no cabe duda que el operacionalismo ha jugado y continúa jugando un rol importante en el otorgamiento de significado de muchos conceptos físicos. Pero el hecho que un concepto se encuentre claramente definido operacionalmente y por lo tanto también tenga claro su significado, de ninguna manera implica la aceptación irrestricta de su existencia objetiva como algo perteneciente a una realidad externa independiente de la presencia de un observador.

Realismo, empirismo y positivismo. Realismo científico.

Ha habido y continua habiendo posiciones filosóficas que mantienen que analizar la existencia objetiva de una entidad, es un ejercicio que pertenece al ámbito de la metafísica y no tiene lugar por lo tanto en el campo de la ciencia natural. Sin duda, el movimiento filosófico más representativo en este sentido fue el constituido por el *Círculo de Viena* en las primeras décadas del siglo pasado. El *Círculo de Viena* (*Wiener Kreis* en alemán) fue el organismo científico y filosófico formado por Moritz Schlick (Alemania) en Viena, Austria, en el año 1922 y disuelto definitivamente en 1936. Este movimiento, con el nombre original de *Círculo de Viena para la concepción científica del mundo*, se ocupó principalmente de la lógica de la ciencia, considerando a la filosofía como una disciplina encargada de distinguir entre lo que es ciencia y lo que no, y de la elaboración de un lenguaje común a todas las ciencias. Los miembros del círculo de Viena publicaron en 1929 su manifiesto programático, en un opúsculo titulado *La visión científica del mundo*.

Propusieron utilizar un lenguaje común, basándose en el lenguaje de la física, por ser ésta la disciplina científica de mayores avances y la que practicaban profesionalmente muchos de los miembros del círculo. Para el *Círculo de Viena* la filosofía tiene la acepción de una disciplina más bien ligada a la lógica y al empirismo inglés.

La corriente filosófica así generada, denominada también *neo-positivismo*, ha tenido gran influencia en el pensamiento científico y filosófico contemporáneo al proponer que el sentido o significado de toda frase lo determine exclusivamente su carácter de ser verificable, ya sea empíricamente, por los datos sensoriales, o como deducción lógica a partir de éstos. La filosofía neo-positivista puede entonces resumirse por la regla básica que debe regular todo pensamiento o afirmación, según la cual sólo deben emplearse *frases con sentido* o *positivas*, además de los nexos lógicos, matemáticos y lingüísticos. Se dice que una frase tiene sentido cuando existe un procedimiento experimental que la verifica o la refuta, o cuando es lógicamente demostrable a partir de otras frases con sentido. De lo contrario, se trataría de

una *pseudo-frase*. Con respecto al problema de la existencia del mundo externo, el positivismo considera que la sentencia que define al realismo: "*existe el mundo externo objetivo, independiente de la observación*", es una frase sin sentido, ya que según el positivismo, es imposible demostrar o refutar experimentalmente su validez. Sin embargo, el positivismo acepta la correlación entre los datos sensoriales de diferentes individuos como un hecho primario, al cual se abstiene de pretender explicar. De esta manera, *el positivismo se opone al realismo, no demostrando su falsedad, sino declarando que el mismo no tiene sentido*.

Si bien el realista no puede demostrar su tesis de la existencia de un mundo exterior a él, es posible esgrimir argumentos que en buena medida contribuyen a la adopción de una actitud al menos crítica frente a la visión positivista. En este sentido, merece recordarse la historia ficticia que en las páginas finales de su atrayente libro "*The Carácter of Physical Law*" (ii), nos relata el talentoso físico y Premio Nobel Richard P. Feynman en su peculiar estilo: él imagina una discusión entre un astrónomo Maya y su estudiante. Como es sabido, los mayas eran capaces de calcular con gran precisión, entre otros eventos, eclipses. Todo el cálculo predictivo se basaba en un procedimiento de aritmética. Ellos comenzaban con un cierto número, efectuaban sustracciones, etc. y así arribaban a un resultado. No se ocupaban en establecer la naturaleza de la Luna o el Sol, ni siquiera consideraban la idea de su movimiento. Simplemente calculaban el momento en el que se produciría un eclipse. Supongamos, relata Feynman, que el estudiante se acerca al astrónomo diciéndole "*tengo una idea*". "*Quizás, continuaba el estudiante, esos objetos celestes se trasladan en círculos y son cuerpos como podrían ser como rocas para los que podríamos calcular cómo es su movimiento de una manera completamente distinta a meramente calcular el momento en que aparecen en el cielo*". "*Si*", contesta el astrónomo y le pregunta al estudiante "*¿con qué precisión podrías calcular un eclipse?*". A lo que el estudiante responde "*no lo tengo completamente analizado aún*". El astrónomo entonces replica "*Bueno, nosotros podemos calcular eclipses con mayor precisión que tu usando tu modelo por lo que*

no deberías ocuparte del mismo porque obviamente el método aritmético es mejor" Feynman finaliza esta historia reflexionando que son muchos los casos en que frente a una expresión "*no lo tengo completamente analizado aún*", la réplica es "*con el método nuestro podemos hacer el cálculo en forma satisfactoria*" con lo que nos sugiere que ignorar la realidad puede poner severas limitaciones a nuestra comprensión del mundo.

Este relato ficticio de Feynman expone lo que puede considerarse el más encendido y persistente debate en la filosofía contemporánea entre los que podemos llamar en general *empiristas* y los *realistas*, concerniente al status ontológico de las teorías científicas. La pregunta es: ¿puede considerarse que las teorías científicas ofrecen, o al menos intentan ofrecer, una descripción del mundo *real*? Y aceptando esto, ¿debemos creer que las entidades que aparecen propuestas en dichas teorías, realmente existen? Los empiristas aceptan que una teoría científica es verdadera si lo que expresa puede ser verificado experimentalmente mediante observaciones o medidas, mientras que no se puede abrir juicio sobre el valor de verdad de entidades que no se prestan a la verificación empírica. Son escépticos respecto de proposiciones teóricas que no pueden ser verificadas experimentalmente de una manera más o menos directa. Pero aún aceptando que una teoría es verdadera, ello no implica necesariamente la aceptación de que describe un aspecto de la realidad. Es así que para los positivistas, una teoría es aceptada como verdadera si se verifica empíricamente su validez, lo que no implica la aceptación de su realidad, ya que este concepto carece de significado para el positivismo. De manera que aplicaremos el término "empirista" para identificar de manera general a aquellos que aún aceptando la verdad de una teoría, no están dispuestos a aceptar que dicha teoría describa la existencia real de la porción del mundo a la que la teoría se refiere.

Los científicos practicantes de las ciencias "duras" en general, y muy particularmente los físicos tienden a calificarse a sí mismos como "positivistas". Sin embargo, un análisis un poco cuidadoso de la posición adoptada por tal grupo nos sugiere que una buena parte de los científicos "duros" suelen más bien

practicar una suerte de variante del positivismo ortodoxo que algunos autores llaman "*positivismo de los físicos*" o "*instrumentalismo*". D'Espagnat (iii) denomina *Instrumentalismo* al *Positivismo de los Físicos*. Admite que el instrumentalismo tiene mucho en común con el positivismo de los filósofos pero que difiere de éste en importantes aspectos. Se refiere a lo que D'Espagnat llama la *crítica de los conceptos*, que según él, sólo está presente como trasfondo en el positivismo de los filósofos siendo en cambio la esencia del positivismo de los físicos. Esta crítica de los conceptos encuentra un claro ejemplo en el cambio experimentado en los conceptos de espacio y tiempo como entidades separadas e independientes una de otra. La Teoría de la Relatividad obligo a reemplazar ambos conceptos por el concepto unificado de espacio-tiempo. La denominación de instrumentalismo es según él apropiada porque en el marco de este positivismo, las teorías son *instrumentos* para la explicación o para la predicción de eventos.

El instrumentalismo se diferencia del positivismo clásico fundamentalmente por considerar a las teorías físicas como algo así como un "instrumento" que nos permite, en base a hechos experimentales, efectuar predicciones ciertas o probabilísticas de los resultados de la observación. Por tal razón, al instrumentalismo se lo denomina también alternativamente "*filosofía de la experiencia*". En cambio, otro sector de los científicos "duros" posiblemente tanto o más importante que el anterior, que también suele identificarse a sí mismo como "positivista", adhiere a una posición filosófica que podríamos denominar *Realismo Físico*, *Realismo Matemático*, o de un modo más general *Realismo Científico*.

Debemos ahora preguntarnos: ¿qué entendemos entonces por Realismo Científico? Una respuesta habitual sería que el Realismo Científico es la aceptación que la imagen del mundo que nos brinda la ciencia, es verdadera, y que las entidades postuladas por ella realmente existen. De este modo, los avances de la ciencia serían descubrimientos y no invenciones. Sin embargo, esta definición es un tanto ingenua en el sentido que el realista científico no está dispuesto en general a aceptar la verdad absoluta de una teoría científica a la luz de las

modificaciones o reemplazos que una teoría científica suele sufrir. Por lo tanto, la definición anterior puede mejorarse diciendo que el realista acepta que las teorías científicas *procuran* acercarse a una descripción de la realidad del mundo.

Denominaremos entonces Realismo Científico a la posición que consiste en aceptar que las teorías de la ciencia nos brindan conocimiento acerca de la realidad y de lo inobservable y que las proposiciones sobre estos inobservables son en muchos casos verdaderas y se refieren a entidades de existencia real, no obstante que la evidencia es muchas veces, obviamente indirecta. Un pensamiento que guía tal actitud es la llamada *inferencia a la mejor explicación*, que consiste en aceptar que si una dada teoría explica los datos empíricos mejor que cualquier otra, existe una buena razón para pensar que aquella teoría es verdadera y describe una porción de la realidad. Desafortunadamente, en la ciencia la situación no es siempre clara y definida y una teoría que es satisfactoria en algunos aspectos puede no serlo tanto en otros. Esto es particularmente cierto en el caso de inobservables aún cuando pudiésemos establecer sin ambigüedades cuál es la explicación que mejor se ajusta a los datos, nunca tendríamos confirmación irrevocable acerca de cuán verdadera es tal explicación, ya que las entidades inobservables son inferidas en virtud de la teoría de la cual son parte. De todos modos, los Realistas Científicos sostienen que una teoría que se ajusta a los datos debe tener "alguna verdad" en ella, entendiendo por tal la representación de algún aspecto fundamental de la naturaleza. Por el contrario, los positivistas niegan la posibilidad de pasar del poder explicativo a la verdad. Esta posición parece muy difícil de rebatir si tenemos en cuenta que teorías opuestas pueden ajustar perfectamente con los datos experimentales y ser por lo tanto empíricamente equivalentes. Sin embargo, cuando consideramos teorías específicas y de alta complejidad que han sido y continúan siendo de gran fertilidad en el mundo empírico, es difícil establecer una frontera que delimite la teoría de la observación, por lo que los aspectos teóricos y empíricos parecen más bien constituir un continuo del que fluyen en forma permanente nuevos datos acerca del mundo. Efectivamente, el objetivo fundamental de la elaboración de teorías es ir más allá

de la experiencia directa para descubrir verdades subyacentes referentes a las causas de fenómenos, independientemente de que estos fenómenos sean o no observables. Una vez que esas teorías están suficientemente verificadas por los efectos observables que predicen, existen buenas razones para aceptar su verdad y para creer que las entidades inobservables que postulan son reales (iv).

Así como la historia ficticia de Feynman sugiere que la estricta adherencia al positivismo puede conspirar contra una buena comprensión de la manera en que las cosas se configuran en el mundo, Maxwell (v) nos propone otra ficción, de algún modo análoga a la anterior pero referida específicamente a los inobservables. Se refiere a un joven científico que vivía en un tiempo anterior a la invención del microscopio. Utilizando como guía heurística la transmisión de algunos males comunes como los piojos, este científico reflexionaba si la causa de ciertas enfermedades no podría ser la transmisión por algunos seres tan pequeños, a los que llamó “crobios”, que no eran accesibles a nuestra vista y que podían residir en el cuerpo de sus huéspedes. Después de años de lucha contra una incredulidad recalcitrante, logró que se aplicaran algunas medidas sanitarias que pondrían a prueba su teoría: se aislaría a los enfermos y se expondrían a temperatura elevada o a alguna sustancia tóxica los utensilios que estuviesen en contacto con ellos. Los resultados fueron espectaculares y en 10 años la mortandad había bajado al 40%. Sin embargo, la postulación de los “crobios” causaba gran desazón entre los filósofos de la ciencia de la época, ya que se trataba de inobservables. Siguieron entonces distintas interpretaciones de la teoría de nuestro joven científico. Según una de estas interpretaciones, los “crobios” eran meramente una ficción conveniente, muy útil como recurso heurístico para facilitar el pensamiento científico pero que no se podía tomar en serio en sentido cognitivo. En otras palabras, los términos teóricos utilizados en la teoría eran palabras sin sentido que cuando eran combinadas con hechos observables mediante reglas sintácticas apropiadas, permitían efectuar exitosamente predicciones y organizar los datos en forma conveniente. Los filósofos que adherían a esta posición se llamaban a sí mismos

“instrumentalistas”. Había otro grupo que sostenía que el hecho que los “crobios” representasen o no entidades de existencia real carecía de importancia para la investigación médica. Insistían en que si nuestro científico hubiera utilizado la metodología correcta, hubiera llegado con menor esfuerzo a las mismas observaciones sobre la transmisión de la enfermedad, medidas preventivas, etc., sin necesidad de recurrir a un concepto superfluo como el de “crobio”. Este grupo de filósofos se llamaban a sí mismos “positivistas”. Afortunadamente, nuestro investigador pudo ser testigo en vida de la invención del microscopio y de la verificación de la realidad de los microbios (que así comenzaron a llamarse) y de su identificación según distintas enfermedades. El investigador de marras recibió entonces merecido reconocimiento, muchos filósofos admitieron su error y algunos hasta se convirtieron al realismo. Otros, en una actitud radical, sostenían que los microbios no existían y que sólo eran manchas de luz en el microscopio más que objetos de existencia corpórea.

Entidades observables e inobservables. Mecánica Cuántica y realidad objetiva.

Más allá de las caricaturizaciones en que puede haber caído la ficción anterior, surge que, como se ha mencionado más arriba, resulta difícil establecer una frontera entre lo observable y lo inobservable, entre los aspectos teóricos y los empíricos de una teoría. Efectivamente, ¿en qué punto podemos establecer dicha frontera cuando consideramos por ejemplo, las observaciones hechas a ojo desnudo, de las hechas con ayuda de anteojos, mediante un microscopio óptico o mediante un microscopio electrónico? Esta constituye una jerarquía más o menos continua de niveles de observación y la delimitación de la frontera entre lo observable y lo inobservable es indudablemente móvil. Consideremos como ejemplo el caso de las imágenes de microscopía óptica a las que no dudamos en interpretarlas como datos empíricos, en contraste con las imágenes de microscopía electrónica o de un espectro de difracción obtenido con el mismo instrumento. Un argumento a favor del isomorfismo, es decir de la correspondencia entre las imágenes que se observan en el

microscopio óptico y los objetos de existencia real que se encuentra más allá del objetivo, está dado por todo un cuerpo teórico que incluye la teoría ondulatoria de la luz y de los sistemas ópticos centrados. En cambio, la justificación teórica de la realidad de los electrones a partir de las manchas luminosas que configuran un espectro de difracción es sin duda más abstracta e indirecta. Sin embargo, ¿la existencia de una teoría adecuada verificada empíricamente, en este último caso, para los electrones sería la Mecánica Cuántica (MC), no debería ser suficiente para la aceptación de la realidad de los electrones? El problema que se nos presenta aquí es que mientras la teoría ondulatoria de la luz y la de los sistemas ópticos centrados pueden ser expresadas en términos de física clásica, utilizando conceptos sobre cuya realidad no abrigamos dudas, no ocurre lo mismo con la MC y las entidades que postula, ya que su interpretación se encuentra hoy en el centro de un debate que se encuentra lejos de estar dirimido.

Históricamente, la interpretación de la MC no relativista ha sido dominada por dos corrientes principales. Por un lado, tenemos la "*interpretación ortodoxa*" o "*interpretación de Copenhagen*" como la concibieron Bohr, Born, Heisemberg, Pauli, Jordan y algunos otros en las primeras décadas del siglo pasado. Por el otro lado, encontramos la "*interpretación realista*" que se desarrolló a partir de las críticas de Einstein a Bohr, y que ha sido expuesta por Landé, Popper, Putnam, Bohm, y en general por los representantes de la escuela de las llamadas "*variables ocultas*". Este último grupo objeta a la interpretación ortodoxa en base a su anti-realismo. Sin embargo, ni Bohr ni Heisemberg eran antirealistas en el sentido metafísico de negar la existencia de una realidad externa objetiva detrás del velo de la percepción, ni renegaban del compromiso del realista de describir tal realidad mediante el lenguaje de la ciencia. En particular, ambos compartían con Einstein y los otros realistas la creencia en la realidad objetiva de los átomos y en el encuadramiento científico de la teoría atómica de la materia. En otras palabras, el desacuerdo entre Bohr y Heisemberg por un lado y Einstein por el otro no era sobre el realismo metafísico ni sobre el realismo científico en su concepción del mundo. De manera que es

razonable pensar que se trataba en cambio de un desacuerdo acerca de los términos en los cuales dicha realidad externa debía ser descripta a través de los conceptos introducidos por la MC.

Efectivamente, si nos remitimos a la interpretación ortodoxa, es decir a la interpretación de Copenhagen de la MC, a la que ya hemos hecho referencia, debemos aceptar que esta teoría es *anti-realista* en el sentido que las entidades que postula sólo cobran existencia real una vez que *intervenimos* un sistema cuántico mediante una *acto de medición*. Es así que si queremos determinar la posición de un electrón en una dada región del espacio, para la interpretación ortodoxa, el electrón se materializa, es decir cobra existencia en una dada posición *sólo después* de haberlo detectado mediante algún instrumento adecuado de medición en esa posición. Ante esto surge inmediatamente la pregunta: ¿dónde se encontraba el electrón hasta el instante en que se efectúa su detección? La respuesta según la interpretación de Copenhagen es que el electrón como tal no tenía existencia real, o más bien no tenía sentido plantearse la idea de su existencia real, y se encontraba en cambio como una suerte de entidad abstracta en una especie de “limbo” distribuido probabilísticamente en el espacio, estando el estado de esta entidad abstracta y su evolución hasta el instante de la intervención, dados por la ecuación de Schrödinger. En otras palabras, el electrón sólo asoma a la realidad cuando se efectúa una observación que lo pone de manifiesto. Sin embargo, el formalismo introducido un poco más tarde en la MC, principalmente por Von Neumann (vi) y por Dirac (vii) mediante poderosas herramientas matemáticas y centrado en el concepto de vector de estado o vector de onda y de operador, hace sugerente la idea que el q -sistema (micro sistema cuántico) cuyo estado está representado por ese vector o función de onda, posee una realidad en sí mismo independiente del aparato de medición. Según este formalismo, el valor de una variable dinámica, como puede serlo la posición de una partícula, su cantidad de movimiento o su energía, surge aplicando a la función de onda un operador matemático específico para cada variable y el valor obtenido en una medición experimental corresponderá con cierta probabilidad calculable, a uno de los autovalores de ese operador.

Esto permitiría atribuir una suerte de “realidad potencial” a las variables dinámicas de un sistema cuántico y por ende al propio sistema antes de efectuar la medición. En efecto, el espectro de interferencia que se obtiene sobre una placa fotográfica en la experiencia de difracción de electrones por rendijas pone de manifiesto la realidad del fenómeno de interferencia. Ahora bien, este fenómeno se manifiesta en la medida en que cada electrón esté representado por su función de onda. Tanto es así que si colocamos un detector a la salida de alguna de las rendijas para saber por cuál de ellas pasó el electrón, producimos la reducción de la función de onda del electrón y destruimos el espectro de interferencia. De manera que queda claro que la naturaleza de la función de onda es la responsable del fenómeno de interferencia. ¿Cómo podríamos entonces justificar que algo sobre cuya existencia real tenemos evidencia empírica (el espectro de interferencia en la placa fotográfica), es causado por una entidad sin existencia real (la función de onda del electrón)?

Como es sabido, Bohr en particular rechazaba la idea de la realidad de un q -sistema desligado del aparato de medición. La posición ortodoxa era que no es posible hablar de objetos cuánticos en sí mismos ni de sus propiedades y que cualquier descripción válida de fenómenos cuánticos se debe en última instancia referir al concepto primario de objetos clásicos, es decir macroscópicos, en particular referidos al montaje experimental empleado o a las condiciones en las que se efectúa la observación. Esta posición se llama a veces *macro-objetivismo* y tiene que ver con la idea sostenida por la mayoría de los físicos en el sentido de aceptar que los objetos macroscópicos poseen existencia en un sentido primario que no requiere (ni puede rigurosamente) ser definido. Según este punto de vista, aun aceptando la realidad de dichos objetos, procurar definir el concepto de existencia de estos objetos macroscópicos es inútil, o al menos, no tiene que ver con la física.

Lamentablemente, si bien el macro-objetivismo funciona bien como esquema práctico, cae rápidamente en serias dificultades conceptuales que tiene que ver con su coherencia interna **(3)**. En efecto, sabemos que los objetos macroscópicos están en última instancia constituidos por objetos microscópicos,

es decir por entidades cuánticas. De manera que la idea que la interpretación de Copenhagen quería desterrar, la de objetos cuánticos y sus propiedades existiendo independientemente del dispositivo experimental de observación, surge de nuevo a la luz en forma problemática asociada a la necesidad de una concepción realista de las micro-entidades cuánticas para poder aceptar la realidad de los objetos macroscópicos. En efecto, se hace muy difícil aceptar la realidad de estos y aceptar al mismo tiempo la no-realidad de sus últimos componentes.

La búsqueda de una interpretación realista de la MC es motivo aún de un acalorado debate que se libra en la frontera entre la ciencia y la metafísica y que se remonta al famoso debate Einstein-Bohr en los años '30. Este debate tuvo su expresión culminante en el trabajo publicado en 1935 por Einstein con sus colaboradores de Princeton, Boris Podolsky y Nathan Rosen (viii), en el que argumentaba que la interpretación de Copenhagen era incorrecta y que en realidad había algún mecanismo subyacente que sólo daba la apariencia de incertidumbre e impredecibilidad a nivel cuántico. Estos autores sugerían imaginar dos partículas inicialmente cercanas interactuando entre sí y que luego se alejan una de otra sin interactuar con ninguna otra cosa hasta que el experimentador decide actuar sobre alguna de ellas. Cada partícula tiene, según los autores, su cantidad de movimiento y su posición en el espacio. Aún dentro de las reglas de la MC es posible medir con precisión la cantidad de movimiento total de las dos partículas cuando aún se encuentran cercanas. Cuando más tarde se decide medir el momento de una de las partículas, digamos el de la partícula *A*, se conoce indirectamente sin haber actuado de ninguna manera sobre la partícula *B*, su cantidad de movimiento, ya que se tenía la información de la cantidad de movimiento total inicial que se tiene que haber mantenido constante. De manera que la partícula *B* tenía que *haber tenido*, en el momento de la medición sobre la partícula *A*, esa cantidad de movimiento. Alternativamente, se podría haber decidido medir la posición de la partícula *A* y de este modo, también indirectamente, conocer la posición de la partícula *B* sin perturbarla y puesto que no se ha actuado en forma alguna sobre

la partícula B , ésta debía *haber tenido* esa posición. De manera que uniendo la medición que se efectuó con la que se podría haber efectuado, los autores concluyeron que la partícula B tiene posición y momento definido en todo instante. Por supuesto, este análisis se puede realizar intercambiando las partículas por lo cual ambas partículas tendrían siempre una posición y momento definido **(ix)**.

En otras palabras, una cosa es afirmar que la medición del momento de la partícula A destruye el conocimiento de su *propia* posición, como lo postula el Ppio. de Incertidumbre, y otra muy distinta es decir que la medición del momento de la partícula A destruye el conocimiento de la posición de la partícula B ya que esto implicaría que una medición hecha sobre la partícula A tiene un efecto instantáneo sobre el estado de la partícula B , dado que de ser así no sería posible elegir qué tipo de medición, si del momento o de la posición se quiere efectuar sobre la partícula B . Esto implicaría una transmisión instantánea de información de la partícula A a la B para que esta pueda “saber” si debe adoptar una cantidad de movimiento definida o una posición definida. Esto es acción a distancia y resultaba inaceptable para Einstein y sus colaboradores. El hecho que una medición hecha sobre una partícula *aquí* afecte instantáneamente a otra partícula *allá* les parecía que no condecía con una interpretación razonable de la realidad **(x)**.

De todas maneras, es importante destacar que no obstante el razonamiento detrás de la llamada paradoja de Einstein, Podolsky y Rosemberg (EPR), la determinación experimental precisa simultánea de la cantidad de movimiento y posición de una partícula sigue siendo imposible, de modo que al medir la posición (o el momento) de una de las partículas se perturba, según el Ppio de Incertidumbre, su momento (o posición). Al no poderse determinar con precisión la posición y la velocidad de una de las partículas, tampoco sería posible determinar indirectamente con precisión esas variables para la otra partícula. Sin embargo, EPR opinaban que esta limitación experimental introducida por el Ppio. de Incertidumbre no invalidaba el hecho que las partículas tuvieran *en realidad*, posición y momento definidos. A esto, los adherentes a la

interpretación ortodoxa, entre ellos el eminente físico Wolfgang Pauli, replicaban que no tiene sentido hablar de la realidad de algo que no se puede determinar.

Fue el físico David Bohm el que razonó que la paradoja EPR podía formularse en términos de si las partículas poseen un spin definido sobre uno o sobre todos los ejes. A los fines de las consideraciones que siguen, sólo es necesario tener en cuenta que el “*spin*” de una micro-entidad como puede serlo un electrón, un neutrón o un fotón, es una propiedad representada por una variable no clásica y que por lo tanto no puede ser expresada en términos de conceptos de la física clásica. Ello no impide que sea útil utilizar habitualmente una analogía entre el spin de una partícula y el *momento cinético intrínseco de rotación* (lo que también se llama *impulso angular*) de una partícula clásica que rota sobre su propio eje. Tanto el spin como el momento cinético intrínseco pueden ser representados por un vector con magnitud, dirección y sentido. Sin embargo, y esto constituye una diferencia fundamental entre el momento cinético intrínseco clásico y el spin, aquel tiene una componente de valor definido para cualquier dirección en que se lo mida, y conociendo este valor puede predecirse con exactitud el valor del momento cinético intrínseco según distintas direcciones que variará en forma continua entre un máximo y cero. En cambio, elegida una dirección arbitraria, el spin sólo puede adoptar dos valores fijos, que se designan habitualmente como “spin up” o “spin down”, y la determinación del spin para esa dirección arbitraria hace imposible la predicción precisa del valor del spin sobre alguna otra dirección, pudiendo sólo calcularse *la probabilidad* de que el resultado de una medición según esa otra dirección sea “spin up” o “spin down”.

Ahora bien, Bohm imaginó dos detectores capaces de medir el spin de un electrón entrante, situados en extremos opuestos de un laboratorio. Se preparan dos electrones de modo que sus spins estén inicialmente correlacionados de modo que al separarse e ingresar cada electrón al detector correspondiente, habiéndose ambos detectores ajustado para medir el spin en una misma dirección, ambos detectores brindarán el mismo resultado (spin “up” o spin “down”). Ahora bien, la MC sólo permite

predecir la probabilidad que ambos detectores midan uno u otro resultado. Lo que se tiene en este caso es la certeza de que ambos detectores darán el mismo resultado. Como en la paradoja EPR, la medición del spin de uno de los electrones por un detector nos da indirectamente la información del spin del otro electrón sobre el mismo eje. Dado que no se ha actuado de manera alguna sobre este electrón, debe *haber tenido* este spin sobre ese eje. Como se podrían haber efectuado estas mediciones sobre *cualquier* eje, surge la conclusión que este electrón tiene spin definido sobre cualquier eje. De lo anterior surge entonces que un electrón tendría spin definido sobre cualquier eje. Pero el Ppio. de Incertidumbre hace imposible medir simultáneamente el spin en más de una dirección. Nuevamente, puede cuestionarse qué sentido tiene hablar sobre la existencia de algo que no es posible determinar.

El dilema introducido por la paradoja EPR, perteneció al ámbito de la metafísica hasta que se produjo el vuelco conceptual producido por el trabajo del físico irlandés John Bell del CERN⁽¹⁾ en 1964 (xi) dando origen a la "*desigualdad de Bell*" que habilita por primera vez la posibilidad de emplear una metodología experimental para dirimir el dilema introducido por la paradoja EPR. Efectivamente, Bell se dio cuenta que aunque no es posible medir el spin de una partícula sobre más de una dirección, de tener la partícula un spin definido sobre todas las direcciones, hay consecuencias confirmables experimentalmente. Una consecuencia del Teorema de Bell es que si EPR estaban en lo cierto, dos detectores separados espacialmente midiendo en direcciones seleccionadas independientemente al azar el spin de partículas inicialmente correlacionadas, deberían coincidir en sus resultados más del 50% de las veces.

En el momento en que Bell obtuvo este resultado, la tecnología no estaba aún disponible para confirmarlo. La experiencia crucial fue la realizada por Aspect y su equipo en Francia en 1980. En tal experimento, dos detectores se colocaron a una distancia de 13 m uno de otro con un contenedor de átomos

¹ CERN: Centro Europeo para Investigaciones Nucleares, cercano a Ginebra, Suiza.

energéticos de calcio en el punto medio entre ambos detectores. Al pasar a un estado de menor energía, un átomo de calcio emite dos fotones en direcciones opuestas con sus spins correlacionados. De modo que en este experimento, si los detectores están ajustados en la misma dirección, los spins de ambos fotones producirán el mismo resultado (ambos spin “up” o ambos spin “down”). Pero cuando la dirección de los detectores fue variada independientemente al azar en cada medición, los detectores *no coincidieron en sus resultados en más del 50% de los casos*, lo que dio por tierra con la teoría de las variables ocultas. Para ver que esto es efectivamente así, asumamos que mediante los dos detectores podemos medir en las direcciones x , y , z , el spin de los fotones inicialmente correlacionados. Sabemos que si la medición S_{z1} da como resultado spin “up” o spin “down”, la medición S_{z2} dará el mismo resultado spin “up” o spin “down” y análogamente con las mediciones S_{x1} y S_{y1} con relación a las mediciones S_{x2} y S_{y2} . Ahora bien, según Einstein y sus colaboradores, cada par de fotones lleva consigo el mismo “programa” escrito en términos de variables ocultas, que *determina* el valor de cada medición según los ejes x , y , z . Supongamos que este programa determina que los resultados de las mediciones de los detectores según estos ejes sean respectivamente: spin “up”, spin “up”, spin “down”. De manera que las combinaciones que arrojarán resultados coincidentes serán (S_{x1}, S_{x2}) , (S_{y1}, S_{y2}) , (S_{z1}, S_{z2}) , (S_{x1}, S_{y2}) , (S_{y1}, S_{x2}) , es decir son cinco combinaciones en total. Las combinaciones de direcciones posibles son en cambio xx , xy , xz , yx , yy , yz , zx , zy , zz , es decir nueve en total. Dado que cinco es más que la mitad de nueve, la validez de la teoría de variables ocultas implicaría que en un número suficientemente grande de mediciones hechas sobre los ejes x , y , z independientemente al azar mediante cada detector, tendríamos que encontrar coincidencias en los pares de mediciones más del 50% de las veces lo que no se verifica experimentalmente. Si bien en este análisis hemos considerado el “programa” particular spin “up”, spin “up”, spin “down” para las direcciones x , y , z , respectivamente, cualquier otro programa arrojaría las mismas conclusiones y lo mismo cabe consignar si en lugar de considerar mediciones según tres direcciones definidas, se hubiesen considerado direcciones cualesquiera.

La refutación experimental de la teoría de variables ocultas nos lleva a la anti-intuitiva conclusión que en los fenómenos cuánticos, parece no cumplirse la localidad espacial y se pone de manifiesto una suerte de acción a distancia instantánea. Además, la inexistencia de variables ocultas introduce un indeterminismo esencial en lo que hace al resultado de las mediciones de variables dinámicas en general. Este carácter *no local* de la MC ya se pone de manifiesto en la experiencia de difracción de electrones por rendijas, donde el espectro de difracción se produce aún cuando los electrones entren al dispositivo de a uno. Esto significa que el electrón de alguna manera “pasa” por ambas rendijas lo que impide considerarlo como una partícula localizada. Esta no localización de la partícula queda interpretada en alguna medida por el aspecto ondulatorio asociado al electrón. Con relación a esto, es importante recordar que este aspecto ondulatorio desaparece en el momento en que se hace una detección de la posición del electrón, por ejemplo a la salida de una de las rendijas. Esta simple experiencia, pone de manifiesto el llamado *problema de la medición* en MC y al que podemos describir de la siguiente manera: asumamos tener un q -sistema como puede serlo un electrón que hemos preparado de forma tal que conocemos su spin inicial, es decir para $t = 0$, digamos spin “up”. Esto significa que si hiciésemos inmediatamente una nueva medición del spin en la *misma* dirección, obtendríamos el mismo resultado. Ahora bien, la función de onda del electrón en este estado es tal que el operador spin tiene un autovector con un autovalor en la dirección de medición del valor de spin medido, en este caso spin “up”. A partir del instante en que se hace la medición del spin ($t = 0$), la evolución del estado del electrón en su subsiguiente interacción con eventuales campos eléctricos y magnéticos queda totalmente determinada por la evolución de su función de onda según la ecuación de Schrödinger. Esta evolución, totalmente determinista, se mantiene hasta que se efectúa una nueva medición. El resultado de esta nueva medición no puede en general predecirse en forma exacta y todo lo que podemos inferir del conocimiento de la función de onda utilizando el operador correspondiente a la dirección seleccionada para efectuar la nueva medición, es la probabilidad de que el resultado sea spin

“up” o spin “down”. Dicho de otra manera, la medición de una variable dinámica “destruye” la información que se tenía del estado del q -sistema a través de la evolución temporal determinista de su función de onda y se “salta” a un nuevo estado correspondiente al autovector del operador de la variable dinámica en consideración. Este “salto” desde una evolución temporal perfectamente determinista a un estado definido pero de resultado aleatorio cuando se efectúa una medición, es lo que se conoce como “reducción” o “colapso” de la función de onda. Es importante destacar aquí una cuestión terminológica para evitar confusiones. Efectivamente, a diferencia de la terminología habitual en las distintas posiciones filosóficas respecto de la realidad que ya hemos analizado, las variables dinámicas en MC se denominan *observables* aunque las mismas son sólo determinables a partir de instrumentos de medición, lo que las calificaría, de acuerdo con aquellas posiciones, como inobservables (xii).

Un punto a destacar sobre la interpretación probabilística de los resultados de una medición en MC, es que a diferencia de la interpretación habitual sobre la probabilidad de obtención de un dado resultado como podría serlo la extracción al azar de un número de la lotería en la que las bolillas con los distintos números tienen existencia real antes de la extracción, en un q sistema, hasta el momento de efectuar la medición, la variable dinámica a medir no tiene, según la interpretación ortodoxa, un valor definido, que sólo adquiere al producirse la reducción de la función de onda por el acto de medición. Por esta razón hemos dicho más arriba que los q -sistemas se encuentran según la MC en una suerte de limbo probabilístico, del cual sólo emergen cuando se efectúa el acto de medición.

La pregunta que surge con relación al fenómeno de reducción de onda es en qué etapa del proceso de medición dicha reducción se produce. Puede argumentarse que la reducción se produce en el momento en que el experimentador obtiene la información del valor del observable a través de la lectura de algún instrumento de medición cuyo funcionamiento es descrito en términos clásicos. Pero la frontera entre la evolución determinista del sistema según la ecuación de Schrödinger y el

estado correspondiente a un valor definido del observable medido es móvil y podría ubicarse en cualquier punto entre el q -sistema y el observador. En efecto, la interacción entre el q -sistema y al menos una parte del instrumento de medición puede describirse en términos cuánticos por lo que no queda claro en qué punto de todo el proceso de medición se produce el colapso o reducción de la función de onda dando lugar a un resultado definido para la variable medida. Si todos los sistemas físicos, aún los clásicos como los son los instrumentos de medición, más allá de las dificultades matemáticas, pueden ser descritos con el formalismo cuántico, y la MC asegura que esto es efectivamente así, cómo puede haber lugar para instrumentos cuyas mediciones corresponden a estados descritos en términos clásicos?

La respuesta dada por Bohr es que los científicos experimentales, diseñan, realizan, interpretan y comunican los resultados de sus experimentos en términos de física clásica. Comprendemos cómo los instrumentos macroscópicos funcionan sólo en términos de conceptos clásicos. El efecto de un evento que ocurre a nivel de una partícula cuántica individual debe ser amplificado de alguna manera, es decir transformado en algún tipo de señal macroscópica para que pueda ser percibido y medido. Nuestra percepción funciona a nivel de la física clásica y los únicos conceptos con los que estamos familiarizados y para los que tenemos un lenguaje altamente desarrollado, son los conceptos clásicos (xiii). La teoría es así sólo un instrumento cuyo fin es proveer correlaciones entre el estado de un q -sistema y un proceso (de medición) que prepara al sistema en un dado estado cuántico para la medición posterior del observable, de modo que según Bohr, existe una *inseparabilidad* esencial entre el sistema cuántico y el dispositivo de medición. Sin embargo, esta posición es discutible habida cuenta de resultados que muestran que la probabilidad de obtener un dado valor de un observable en un q -sistema A mediante un instrumento de medición complejo $B + C$, es la misma que considerando el sistema $A + B$ y efectuando la medición con el instrumento C . En otras palabras, la inseparabilidad de naturaleza metafísica que según Bohr hay entre el q -sistema y el instrumento clásico de medición queda sin resolver.

Estas dificultades han llevado a algunos científicos, en particular a E.Wigner, a sugerir que el colapso de la función de onda se produce sólo cuando una mente conciente toma conocimiento del valor del observable medido. No es de sorprender que esta posición de una metafísica dualista de un mundo físico por un lado y mentes concientes por el otro tenga pocos adherentes. Sus críticos, en cambio, argumentan que el colapso de la función de onda causado por la intervención de una mente conciente queda sin explicación y fuera de la competencia de la física (xiv).

Una alternativa más promisoría es la caracterización del proceso de medición como una clase particular de interacción física en la que participa un microsistema (el g -sistema) y un sistema macroscópico (el instrumento de medición). De este modo, un aspecto microscópico del sistema que es medido se correlaciona con aspectos macroscópicos del sistema de medición de una manera que revela el valor de la microentidad. Por ejemplo, en una operación en la que se detecta por cual rendija pasa un electrón, esta detección puede ser efectuada por un dispositivo que amplifica el efecto del pasaje de la partícula por el detector, por ejemplo por un amplificador en cascada que multiplica el número de partículas cargadas que terminan revelando la presencia de la microentidad inicial mediante un voltaje macroscópico producido por una gran cantidad de partículas cargadas actuando concertadamente. Tengamos en cuenta que hay dos características en el proceso de medición: la primera es que el estado del aparato de medición implica siempre un gran número de partículas y es caracterizable en escala macroscópica. La segunda es que el estado final del aparato es macroscópicamente discernible, es decir no se trata de un estado de superposición sino de un estado “puro” pero perfectamente correlacionado con los posibles estados cuánticos del sistema que está siendo medido.

Los adherentes a esta interpretación del proceso de medición aceptan de todos modos que la interacción entre el microsistema cuántico y el instrumento de medición obedece a las leyes de la MC. Esto implica que si el microsistema a medir se encuentra en un estado de superposición, por ejemplo spin

“up” con spin “down” el sistema constituido por el microsistema y el aparato de medición también debe encontrarse en un estado de superposición spin “up” y spin “down” más el instrumento indicando, digamos, spin “down”. Lo que ocurre es que dado que el aparato de medición es macroscópico, está constituido por una enorme cantidad de partículas por lo que la caracterización de su estado requiere una gran cantidad de grados de libertad. Los efectos de interferencia entre el microsistema y el instrumento no desaparecen totalmente, pero se disipan en el proceso de amplificación del que sólo emerge un valor de la variable dinámica medida, en este caso spin “up” o spin “down”, que es el que se toma como valor de la medición. Este fenómeno por el cual aquellas componentes del vector de onda del conjunto q sistema/aparato de medición que se encuentran en superposición se destruyen rápidamente, se denomina *decoherencia* y es el responsable que no observemos normalmente fenómenos de interferencia a nivel macroscópico (xv). De manera que según esta interpretación, el colapso de la función de onda debe interpretarse como el resultado de la compleja interacción entre microsistema y aparato de medición (más el medio exterior) que hace que el efecto de superposición entre ambos sea en la práctica indetectable quedando sólo detectables los estados macroscópicos posibles del aparato de medición. Este desacople de las componentes del vector de onda que se encuentran en superposición es el resultado del acoplamiento del vector de onda a los innumerables estados del aparato de medición y su ambiente. El fenómeno que se puede tomar como análogo en física clásica es el de *disipación de la energía* a través de fenómenos de rozamiento o amortiguamiento viscoso. Sin embargo, la analogía no debe llevarse demasiado lejos ya que la decoherencia debe completarse en una escala de tiempo mucho más breve que la que toma generalmente el fenómeno de disipación de la energía. De manera que la coherencia o superposición de estados que representa un vector de estado es una condición extremadamente lábil. Basta la interacción del vector de onda con algunos pocos fotones o átomos para que rápidamente se produzca la decoherencia o desfase de sus componentes en superposición y el sistema cuántico adquiera una característica clásica. Es de destacar que este proceso de

proyección del vector de onda en un autoestado dado no es instantáneo como lo postula la MC ortodoxa, sino que es un proceso físico que requiere cierto tiempo para completarse.

La teoría de la decoherencia se ha incorporado ya a la corriente principal de investigación en física y nos dice que la transición entre un objeto cuántico deslocalizado y un objeto clásico localizado puede relacionarse con un *factor de decoherencia* $e^{-t/\tau}$, donde τ es el *tiempo de decoherencia*. Este tiempo de decoherencia está relacionado con el tamaño del objeto bajo estudio y al número de partículas interactuantes en su ambiente. Cuanto más pequeño sea τ , más breve será el tiempo que requerirá el vector de estado para eliminar sus componentes en superposición y tornarse, junto con el aparato de medición y su ambiente, en un objeto clásico. Es así que hay cálculos que permiten estimar que una molécula de unos 10^{-6} cm de radio, moviéndose en el aire, tiene un tiempo de decoherencia aproximado de 10^{-30} s. Eliminando el aire, es decir en un vacío de laboratorio, la misma molécula tendría un tiempo de decoherencia de unos 10^{-17} s. En el espacio intergaláctico, en el que la molécula interactuaría sólo con la radiación de fondo, el tiempo de decoherencia aumentaría a unos 10^{12} s, lo que significa que la molécula podría permanecer en un estado deslocalizado por poco menos de 32000 años¹! En contraste, una partícula de polvo se manifestará como un objeto clásico aún cuando la interacción con el ambiente se mantenga baja. En la experiencia de difracción de electrones por rendijas, los electrones que pasan por el aparato se mantienen en un estado deslocalizado representado por el vector o función de onda hasta que se produce la interacción de ese vector de onda con la multitud de átomos que constituyen la placa fotográfica por lo que el tiempo de decoherencia se hace extremadamente corto y a los fines prácticos podemos considerarlo como un evento instantáneo en el que el electrón aparece como una mancha en un lugar definido de la placa. Con relación a esto cabe preguntarse cómo es posible observar fenómenos macroscópicos de interferencia en nuestra

¹ Estas estimaciones corresponden a Ommnes, R., 1994, "*The interpretation of Quantum Mechanics*", Princeton University Press, Princeton, NJ. y son citados por Baggott, J. (13).

vida diaria (por ejemplo los colores de interferencia en una mancha de aceite sobre el piso). La respuesta es que en estos casos los responsables del fenómenos son los fotones y la electrodinámica cuántica nos enseña que la interacción entre ellos es prácticamente nula, por lo que la interferencia perdura y podemos observar sus efectos a nivel macroscópico (xvi).

La teoría de la decoherencia permite explicar porque el *gato de Schrödinger*¹ está vivo o muerto y no parcialmente vivo y parcialmente muerto. Sin embargo no elimina otro de los aspectos de la MC que conspiran contra una interpretación realista de la misma. Este aspecto es su carácter probabilístico, es decir su indeterminismo. Algunas de las dificultades asociadas con la naturaleza indeterminista no local de la MC pueden ser reducidas mediante la interpretación tradicional (de Copenhagen) complementada con la interpretación recién expuesta. En efecto, ambas enfatizan el rol de los instrumentos de medición como una parte integral de cualquier experimento con un \mathcal{G} -sistema. Desde este punto de vista, el resultado de una medición, por ejemplo de una componente del spin, debe verse como una propiedad no sólo de la partícula sino de todo el sistema incluyendo al otro miembro del par correlacionado y a los dos conjuntos de aparatos de medición, de modo que las subsiguientes correlaciones deben interpretarse como correlaciones entre las propiedades de las partículas *más* los aparatos orientados adecuadamente y no como propiedades de las partículas exclusivamente. De este modo, hasta que la primera medición es hecha no se consideraría al sistema como constituido por dos partículas separadas y por lo tanto es razonable esperar que luego de esta primera medición las propiedades de todo el sistema se hayan modificado. No es necesario pensar en las partículas como influenciándose mutuamente de manera no local dado que no tienen existencia independiente con anterioridad al momento de la primera medición. Observemos que esta interpretación reduce en cierto modo el problema de la no localidad pero no el del indeterminismo, ya que si bien no hace necesario recurrir a

¹ Una conocida y muy frecuentemente citada aparente paradoja concebida por E.Schrödinger. Ver por ejemplo Gribbin, J. (10).

argumentos metafísicos como puede serlo el rol atribuido a la intervención de una mente conciente, desde el punto de vista práctico la reducción de la función de onda con sus resultados aleatorios sigue vigente. Una ventaja de la interpretación anterior, es que todo el proceso de medición se explica como resultado de la interacción física entre el microsistema y el instrumento de medición.

Al rescate del realismo.

Hemos visto entonces que en la interpretación ortodoxa de la MC, los aspectos que conspiran contra la adopción de una posición realista para la teoría y para las entidades que postula, son fundamentalmente la no localidad de los fenómenos cuánticos y el colapso o reducción de la función de onda que da origen a un indeterminismo irreductible al efectuarse una medición. Esto último es así excepto en el caso particular en que el sistema haya sido preparado previamente en un autoestado de la variable dinámica a medir (por ejemplo haciendo una medición previa), en cuyo caso, si el sistema evoluciona en forma aislada, es decir sin interactuar con otros sistemas, se tiene la certeza que el resultado de una nueva medición sobre la misma variable, arrojará el mismo resultado que la medición anterior y corresponderá al autovalor del autoestado en que el microsistema se encuentra. De todos modos, en general los sistemas no se encontrarán en el autoestado del operador correspondiente a la variable dinámica que se desea medir.

La localización espacio- temporal de las relaciones causales y el determinismo son dos atributos clásicos que siempre se ha considerado debe exhibir cualquier fenómeno para que pueda ser considerado real. Estos atributos son precisamente los que se encuentran cuestionados en la interpretación ortodoxa de la MC y es lo que introduce un cuestionamiento sobre la realidad de las entidades que la MC postula, tales como electrones y otras microentidades. Debido a esto, podemos decir que la MC en su interpretación ortodoxa no se refiere a los que *es*, sino a lo que *ocurrirá* cuando *observamos* un sistema y esta predicción tiene en general como dijimos, un carácter

esencialmente *probabilístico*. Efectivamente, si en mecánica clásica el cálculo nos permite predecir que una partícula se encontrará en la posición x en el instante t , sabemos que si en ese instante efectuásemos una observación en aquél punto, nos encontraríamos con la partícula. En MC, una partícula, digamos un electrón, estará representado por un vector o función de onda $\psi(x,t)$ que depende de la posición $x^{(1)}$ y del tiempo t . Ahora bien, la MC nos enseña que la probabilidad de hallar el electrón cuando hacemos una observación en la región limitada por el intervalo Δx , es $|\psi(x,t)|^2 \Delta x$, es decir hay una probabilidad *finita* de encontrar al electrón en cualquier región del espacio en que no se anule la función de onda. En otras palabras, el electrón se encuentra *deslocalizado* a diferencia de lo que ocurre con una partícula clásica. El acto de observación es lo que hace que el electrón, hasta ese instante deslocalizado, se transforme en una partícula concreta de localización definida como consecuencia de la reducción de la función de onda inducida por el acto de medición. Este fenómeno de reducción o colapso de la función de onda es sin duda uno de los más intrigantes de la MC y se encuentra en la base misma de las especulaciones sobre la realidad del mundo cuántico.

Otra manifestación de la no-localidad de los sistemas cuánticos la obtenemos cuando consideramos, como ya hemos visto más arriba, un sistema constituido por dos partículas de algún modo correlacionadas (por ejemplo por tener spin total nulo, o algo similar). En este caso la función de onda del sistema $\psi(x_1, x_2, t)$ dependerá de las posiciones x_1, x_2 de ambas partículas y del tiempo t . El “objeto” representado por esta función de onda es ciertamente peculiar dado que la probabilidad de hallar una de las partículas en una dada posición depende de la posición de la otra partícula por muy alejada que se encuentre, lo que nos vuelve a sugerir una extraña acción instantánea a distancia entre ambas partículas (lo que en la literatura anglo-sajona suele llamarse “*spooky action at a distance*”, algo así como “*acción a distancia fantasmal*”).

¹ Por simplicidad, estamos considerando un sistema unidimensional.

Ya hemos mencionado que esta extraña acción a distancia, que no sólo es extraña sino que violaría uno de los dos postulados fundamentales de la relatividad especial que establece a la velocidad de la luz en el vacío como un límite imposible de superar por cualquier entidad física, puede ser eliminada o al menos atenuada si consideramos que hasta el momento en que se efectúa la primer medición, el sistema no está constituido por dos partículas independientes sino por dos entidades correlacionadas de algún modo. De hecho, la forma matemática $\psi(x_1, x_2, t)$ de la función de onda del sistema nos está diciendo que el sistema queda descrito en cada instante por una distribución de probabilidades que es función de ambas variables x_1 y x_2 . Quizás la dificultad para asignarle existencia real a esta entidad, proviene de nuestra experiencia cotidiana que atribuye a los eventos que vemos que suceden en el mundo una localización espacio-temporal, ya que aún aquellos acontecimientos que se extienden en el tiempo y en el espacio, siempre pueden ser reducidos a una cadena causal, en la que cada eslabón causa-efecto tiene contigüidad espacio-temporal con el siguiente. Sin embargo, la realidad puede ser mucho más extraña a nuestra intuición que lo que suponemos, lo que nos llevaría a aceptar que un sistema cuántico puede representar una totalidad aunque exista en forma deslocalizada espacial y temporalmente. De acuerdo con esta idea, la perturbación que sufre una de las partículas en el momento en que se hace una medición sobre la otra, no implica la transmisión de una señal superlumínica sino que es una modificación del estado del sistema, que hasta ese instante es una totalidad, ya que no puede hablarse de “partes” del sistema.

De todos modos, como ya lo hemos mencionado, la interpretación anterior, combinada con la teoría de la decoherencia, si bien permite prescindir o al menor reducir la necesidad de una acción a distancia y explicar el colapso de la función de onda, no elimina el carácter probabilístico de las predicciones de la teoría. Hemos visto que las comprobaciones experimentales del Teorema de Bell realizadas hasta hoy, parecen demostrar con razonable contundencia la imposibilidad

de una MC local de variables ocultas, lo que no impide concebir una teoría no-local de variables ocultas.

Se han desarrollado varias ideas sobre este aspecto, pero sólo nos referiremos a las dos que más aceptación han generado (quizás sería más apropiado decir que son las que menos rechazo han producido en la comunidad de los físicos). Por ser de variables ocultas, ambas teorías son “realistas”, es decir no ponen en duda la existencia objetiva de las entidades que postulan. Estas teorías son: la de *de Broglie-Bohm* y la de *mundos múltiples de Everett*.

La teoría de de Broglie-Bohm reconoce como antecedente la idea de *onda piloto* propuesta por Louis de Broglie en 1926. Esta idea consistía en asumir que las entidades cuánticas, como los electrones, fotones, etc., son efectivamente partículas *reales* que se mueven en un campo *real* de fuerzas. Este campo de fuerzas tiene sin embargo el mismo significado estadístico que la ecuación de onda de Schrödinger y conduce a la misma interpretación probabilística. Esto significa que las partículas seguirían una trayectoria *definida* por este campo de fuerzas u onda piloto que guía a las partículas por el camino más probable que es aquél en el cual la amplitud de la onda piloto sea mayor. De este modo, la probabilidad de hallar la partícula en un lugar, sigue siendo proporcional al cuadrado de la amplitud de la onda piloto en ese punto como ocurre en la MC ortodoxa, pero ahora la partícula es real y se encuentra localizada en todo momento.

En la experiencia de difracción de electrones por rendijas, la onda piloto es la que se difracta y produce el fenómeno de interferencia dando origen a un patrón de zonas alternadas de alta y baja amplitud. El electrón es guiado por este campo y por lo tanto tiene una mayor probabilidad de finalizar en una región donde el campo de fuerzas tiene mayor amplitud, por lo que el arribo de muchos electrones irá formando el conocido espectro de difracción, por ejemplo sobre una placa fotográfica. Obsérvese que a diferencia de la interpretación de Bohr, según la cual los electrones se comportan como ondas o como partículas, en el esquema de de Broglie los electrones son *siempre* partículas localizadas acompañando un campo de fuerza que es *siempre* una

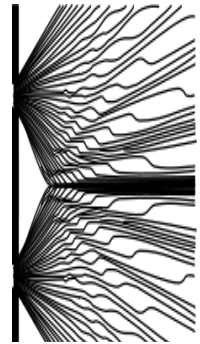
onda. De manera que esta teoría es efectivamente de variables ocultas, en la que la variable oculta no es la onda piloto sino las *posiciones* de la partícula que son las que se mantienen ocultas. Obsérvese que la teoría de la onda piloto reintroduce el concepto de causalidad, ya que las partículas siguen en todo momento una trayectoria clásica determinada por un campo de fuerza pero no prescinde de la no localidad ni de la acción a distancia cuando el sistema está constituido por dos o más partículas correlacionadas.

La modificación que hacia 1952 Bohm le hace a la teoría de la onda piloto de de Broglie implica la reinterpretación de la ecuación de onda de Schrödinger como representando un campo de existencia real objetiva y su reformulación en una forma parecida a la ecuación fundamental de la dinámica newtoniana. Esta ecuación de movimiento depende no sólo del potencial clásico sino que introduce un segundo potencial denominado *potencial cuántico*. Para ilustrar un poco esta idea, mencionemos que el potencial cuántico adopta la forma

$$U = \frac{1}{2m} \operatorname{Re} \left\{ \frac{p^2 \psi}{\psi} - mv^2 \right\} \quad \text{donde Re denota la}$$

parte real de la expresión compleja entre paréntesis y p es el operador cuántico cantidad de movimiento que actúa en la expresión anterior sobre la función de onda ψ . La ecuación del movimiento en la teoría de de

Broglie-Bohm, queda entonces $m \frac{dv}{dt} = -\frac{\partial V}{\partial x} - \frac{\partial U}{\partial x}$, donde V es el potencial escalar usual y v la velocidad de la partícula. Vemos aquí que cuando el potencial cuántico se anula, la ecuación anterior se reduce a la 2ª Ley de Newton. Este potencial cuántico es el responsable de la introducción de efectos cuánticos en una descripción que de otra manera es clásica y puede ejercer efectos en regiones en las que el potencial clásico desaparece (o se mantiene constante). De este modo, una partícula que se mueve en una región en que el potencial clásico es nulo o constante puede no seguir una trayectoria rectilínea como lo dicta la



Trayectoria de un electrón pasando por un aparato de dos rendijas, calculadas usando el potencial cuántico. Obsérvese la presencia alternada de zonas de mayor densidad de trayectorias.

mecánica clásica, lo que permite explicar por ejemplo, en el marco de esta teoría, el movimiento de los electrones en la experiencia de difracción por rendijas, como se muestra en la figura de la derecha (xvii).

De manera que la posición y la trayectoria de las partículas se encuentran en todo momento perfectamente definidas y en la teoría de de Broglie-Bohm no es en principio necesario recurrir a conceptos probabilísticos. En esta teoría, las partículas tienen una posición y momento perfectamente definido, sin embargo, dado que en general las condiciones iniciales no son totalmente conocidas, es necesario recurrir a las probabilidades como un recurso práctico en forma análoga a su uso en mecánica estadística. Al tener las partículas una posición y trayectoria perfectamente determinadas, el acto de medición sólo pone de manifiesto esa posición o esa trayectoria y no tiene la connotación protagónica que le asigna la MC ortodoxa. No obstante su determinismo, la teoría de de Broglie-Bohm no genera conflicto con el Ppio. de Incertidumbre de Heisemberg sino que modifica su interpretación. Efectivamente, de acuerdo con esa teoría, si bien la posición y el momento de la partícula se encuentran definidos, el acto de medición sobre una de las variables (por ejemplo la posición) tiene un impacto sobre la función de onda y por lo tanto sobre el potencial cuántico que afecta entonces a la otra variable (en tal caso el momento), lo que está en línea con el Ppio. de Incertidumbre. De manera que la teoría de de Broglie-Bohm nos provee una interpretación realista determinista pero manteniendo la no localidad de los fenómenos cuánticos. Hay sin embargo, diversas objeciones que se pueden levantar en contra de esta teoría. Una de ellas, es que la onda guía puede ejercer una fuerte influencia sobre el movimiento de las partículas a través del potencial cuántico, pero no hay una reacción recíproca de la partícula sobre la onda lo que viola los principios de la mecánica clásica en virtud de su tercer postulado. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la teoría fue elaborada para demostrar que puede existir una interpretación causal, no necesariamente clásica de los fenómenos cuánticos. Actualmente, la teoría de de Broglie-Bohm retiene un número pequeño de seguidores en la comunidad de los físicos y los

filósofos, pero se encuentra claramente fuera de la corriente principal de la investigación en física.

La siguiente teoría no local pero determinista de los procesos cuánticos que ha merecido cierta atención por parte de la comunidad de físicos, es la de “mundos múltiples”. Esta teoría se origina en un trabajo de Everett en 1957 (xviii), aunque la denominación de “mundos múltiples” llega más tarde. Este trabajo surgió en el marco de una investigación para una tesis de doctorado que Everett se encontraba realizando y en la que buscaba aplicar la MC al Universo en su conjunto. Resulta claro que esto introduce serias dificultades conceptuales, entre otras las derivadas de que para una *función o vector de onda del universo*, no queda nada fuera de este sistema como para interactuar o intervenir en él y producir la reducción de la función de onda. De modo que los problemas de interpretación se tornan más agudos, frente a los que Everett postuló: *la función de onda evoluciona en el tiempo sólo y de acuerdo con la ecuación de Schrödinger*. En otras palabras, Everett eliminó el proceso de reducción de la función de onda. Aparte de esto, siguió los lineamientos de la MC ortodoxa. Para ver mejor el alcance de este concepto, conviene referirnos al *problema de la medición* en MC. Para ello. Recurramos en forma simplificada a la notación abstracta de Dirac según la cual una función de onda se escribe en la forma $|\psi\rangle$. Ahora bien, ya hemos visto que en la medición del spin de una partícula, digamos de un electrón, según una dirección arbitraria, los dos únicos resultados posibles son “spin up” o “spin down”, que para simplificar la escritura los identificaremos con los símbolos “+” y “-” respectivamente. Ahora bien, el postulado de expansión de la MC nos dice que la función de onda del electrón antes de efectuarse la medición estará dada por la superposición $|\psi\rangle = \alpha|+\rangle + \beta|-\rangle$, donde el significado de los coeficientes de la expansión es tal que $|\alpha|^2$ y $|\beta|^2$ son las probabilidades que la medición arroje respectivamente “spin up” o “spin down”. En esta función de onda, los dos estados posibles del electrón están presentes en una superposición lineal. Si efectuamos ahora una medición del spin de un electrón (no es necesario detenerse a considerar los detalles de aparato de medición), el instrumento de medición arrojará sólo uno de los

dos resultados, “up” o “down”, pero como ambos resultados son posibles con una cierta probabilidad, la linealidad de la ecuación de Schrödinger nos dice que el nuevo estado del sistema constituido por el electrón y el aparato de medición debe ser $|\psi\rangle = \alpha|+, up\rangle + \beta|-, down\rangle$. Pero aquí no hemos logrado hacer aún una medición ya que seguimos teniendo en la descripción del sistema una superposición lineal que incluye ambos estados posibles finales del aparato de medición y no contamos con un único resultado que es lo que constituiría una auténtica medición. Obviamente, para que haya medición, en algún punto del proceso tiene que producirse la reducción de la función de onda para pasar de una superposición a un estado único que en nuestro caso sería $|\psi\rangle = |+, up\rangle$ o bien $|\psi\rangle = |-, down\rangle$. Observemos que si a la salida del aparato de medición se sitúa un observador conciente (¿como podría serlo un estudiante de doctorado!), la linealidad de la ecuación de Schrödinger nos conduciría a que el nuevo estado del sistema constituido por el electrón, aparato de medición y observador conciente se encontraría representado por $|\psi\rangle = \alpha|+, up, Yo^+\rangle + \beta|-, down, Yo^-\rangle$, donde Yo^+ y Yo^- , representan los dos estados posibles de consciencia del observador que se anoticia del resultado correspondiente, por lo que de no mediar la reducción de la función de onda, estaríamos aún sin haber logrado una medición. Como ya hemos mencionado, existe una línea de pensamiento que propone que es precisamente la intervención de una mente conciente en el proceso de medición lo que provoca el colapso de la función de onda (14).

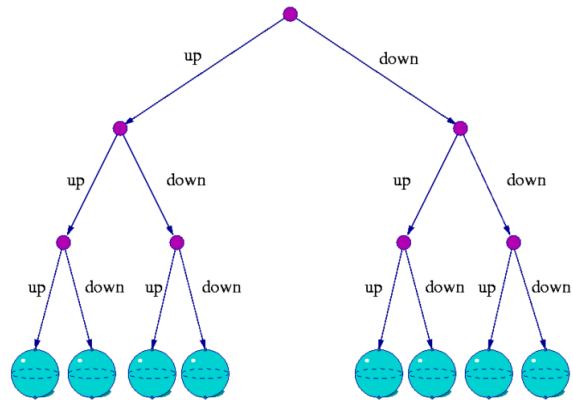
Volviendo ahora a las ideas de Everett, nuestra experiencia nos enseña que nunca experimentamos el último tipo de superposición indicada más arriba, es decir en la cual en nuestra consciencia coexisten ambos resultados. Somos concientes de uno u otro, en este caso “spin up” o “spin down”. Según ya hemos visto, la MC ortodoxa explica esta transición entre una superposición y un estado único con el proceso “agregado” del colapso o reducción de la función de onda que se produce por la interacción del microsistema con el macrosistema del aparato de medición. La alternativa radicalmente distinta de la propuesta de Everett es que tal reducción de la función de

onda nunca se produce y lo que ocurre es que como consecuencia de la medición se produce una bifurcación a partir de la cual coexisten dos mundos diferentes, cada uno correspondiente a cada resultado de la medición y en el que se desarrolla una cadena causal de acontecimientos hasta una próxima medición. Es decir que en un mundo evolucionaría en forma totalmente determinística el observador que midió “spin up” y en otro mundo el observador que midió “spin down”. De este modo la realidad contiene estos dos mundos con un “Yo” en cada uno que han tenido una experiencia distinta (el diferente resultado de la medición). Observemos que la función de onda sigue siendo única, ya que no hay reducción de la misma, pero va incorporando componentes a medida que las mediciones se suceden, como se observa en la figura (xix).

Por audaz y sorprendente que sea, la teoría de Everett posee algunos aspectos atractivos. Por un lado, no necesitamos preocuparnos por qué tipo de instrumento hace la medición, de hecho, no es siquiera necesario disponer de un observador conciente.

No tenemos la complicación de la reducción de la función de onda.

La intersubjetividad queda asegurada porque dos observadores que son testigos del mismo resultado en la misma medición necesariamente pertenecen al mismo mundo y no tienen comunicación alguna con los observadores de otros mundos. Como en esta interpretación, cada rama de cada bifurcación es una porción de la realidad, el mundo que experimentamos es una pequeñísima porción de la totalidad de la realidad existente.



Sucesivas bifurcaciones en la medición del spin de un electrón

Reflexión final.

Hemos visto que en el marco de la física clásica, no se presentan grandes dificultades para aceptar la existencia de una realidad independiente de nuestra presencia como observadores. No hay tampoco demasiada dificultad en extender esta aceptación de la realidad a las entidades que conforman lo que hemos llamado la base empírica metodológica, es decir aquellas que podemos observar en sentido amplio o sea con ayuda de instrumentos. El problema se presenta, como hemos visto, cuando queremos asignarle realidad a las entidades microscópicas que pertenecen al mundo cuántico porque su comportamiento sólo puede ser satisfactoriamente descrito con los recursos de la MC, electrones, fotones, átomos, partículas elementales. Sólo podemos asignarle realidad a estas entidades en la medida que aceptemos una interpretación realista de la MC, pero como este trabajo ha procurado poner de manifiesto, ésta es todavía una cuestión altamente controversial. No cabe duda que se ha avanzado bastante en la clarificación de muchos conceptos que la versión ortodoxa de la MC, es decir la interpretación de Copenhague, dejaba sin elaborar demasiado. Es así que una teoría de la decoherencia puede llegar a explicar el colapso de la función de onda en el marco de los mismos postulados de la MC. El problema de la no-localidad de los fenómenos cuánticos también admite una interpretación razonable si aceptamos que un sistema puede, bajo ciertas condiciones, representar una única totalidad y no estar desagregado en partes. El determinismo y la causalidad pueden ser rescatados por las teorías no locales de variables ocultas que hemos visitado. En resumen, existen hoy argumentos para defender una filosofía realista. Por supuesto, es imposible demostrar la existencia de una realidad externa a nuestra consciencia, pero sin duda esa aceptación constituye una buena motivación y hace en general mucho más digerible y justificable nuestro esfuerzo por comprender el mundo. Si no existiese una realidad “allí afuera”, ¿Qué sentido tendría tratar de entenderla?

Referencias

- i Klimovsky, G., 1994 *“Las Desventuras del Conocimiento Científico: Una introducción a la epistemología”* A-Z Editora, Buenos Aires.
- ii Feynman, R.P., 1965, *“The Character of Physical Law”* Penguin Books, U.K.
- iii D'Espagnat, B., 1990, *“Reality and the Physicist: Knowledge, duration and the quantum world”*. Cambridge University Press.
- iv Maxwell, G., 1998, *“Empiricism and Scientific Realism”*, *Philosophy of Science*, Curd. M. & Cover, J.A. Eds., W.W.Norton & Company, London.
- v Maxwell, G., 1998, *“The Ontological Status of Theoretical Entities”*, *Philosophy of Science*, Curd. M. & Cover, J.A. Eds., W.W.Norton & Company, London.
- vi Von Neumann, J., 1955, *“Mathematical Foundations of Quantum Mechanics”* Princeton University Press, Princeton, N.J.
- vii Dirac, P.A.M., 1958, *“The Principles of Quantum Mechanics”*, 4th. Ed., Oxford Science Publications, Clarendon Press, Oxford.
- viii A.Einstein, A.; Podolsky, B.; Rosen,N, 1935, *“Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?”* Physical Review, v.47, pp.777-780.
- 9 Greene, B.R., 2005, *“The fabric of the cosmos”* 8ª Ed., Knopf Press, USA,.

-
- 10 Gribbin, J., 1994, "*In search of Schrödinger cat*" Bantam Books, USA.
- 11 J.S.Bell, J.S., 1964, *Physics*, v.1, p.195.
- 12 Sklar, L., 1992, "*Philosophy of physics*" Dimensions of Philosophy Series, Oxford University Press, U.K.
- xiii Baggot, J., 2004, "*Beyond measure: modern physics, philosophy and the meaning of Quantum Theory*" Oxford University Press, U.K.
- xiv Squires, E., 1990, "*Conscious Mind in the Physical World*" Adam Hilger, U.K.
- xv Zeh, H.D., 1970, "*Foundations of Physics*" 1, pp.79-76.
- xvi Feynman, R.P., 1985, "*QED: The Strange Theory of Light and Matter*" Princeton University Press, Princeton, N.J.
- xvii <http://www.sciencemag.org/content/332/6034/1170.figures-only> - Observing the Average Trajectories of Single Photons in a Two-Slit Interferometer.
- xviii Everett, h., 1957, "*Rev. Mod. Phys.*" 29., 454.
- xix <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Splittings-1.png>

LOS PRINCIPIOS LÓGICOS Y SU FUNDAMENTACIÓN

POR JORGE ALFREDO ROETTI

0. Prólogo.

– ¡Pero si los principios lógicos no se pueden fundamentar! Simplemente hay que aceptarlos, precisamente por ser principios.

– ¿Que no se pueden fundamentar? Depende del punto de vista. Desde el interior de una teoría con una sintaxis de la que ellos son los principios, no se pueden fundamentar *deductivamente*. Desde fuera de esa teoría, con su semántica o su ontología, se puede *argumentar* a favor o en contra de ellos, de modo *suficiente* o *insuficiente*, y se puede argumentar también respecto de sus límites de aplicación. Y éstos no son los únicos modos de argumentar a favor o en contra de un principio lógico. También hay condiciones de posibilidad pragmáticas para la existencia de una teoría, etc.

1. Comienzo de la discusión.

Los intentos de fundamentación de los principios lógicos son de diversa índole. Precisamente un método típico en la historia de la filosofía es de índole metafísica, que consiste en explorar las posibles leyes que satisfacen el mundo y sus entes, e incluso lo que trasciende el mundo. Ese tipo de fundamentación fue muy criticado en los últimos siglos, lo que dio lugar, por ejemplo, a la aproximación trascendental de Kant, y en el siglo XX al estudio de las condiciones de posibilidad en la práctica argumentativa. Una fundamentación de esta última especie ya no sería ni sintáctica ni semántica, sino una base para ambas que recurre a condiciones de posibilidad pragmáticas. A continuación recurriremos a argumentaciones pragmáticas con una

aproximación dialógica para discutir el carácter y los límites de los tres principios clásicos de la lógica, los de identidad, no contradicción y tercero excluido. No consideramos aquí el cuarto de esos principios, el principio de razón en sus diferentes formas, al que le hemos dedicado varios artículos, capítulos y un libro en 2014, *Cuestiones de fundamento*, todo lo cual mencionamos en la bibliografía. Los grandes filósofos que más estudiaron e insistieron sobre este último principio – y que más influyeron en mí – han sido Gottfried Wilhelm Leibniz (1646 – 1716) y Arthur Schopenhauer (1788 – 1860).

1.1 El principio de identidad.

La forma paramétrica del primer principio, el *principium identitatis* tal como se lo discute habitualmente en la lógica contemporánea, es $\vdash A \rightarrow A$. Lo abreviamos ‘**pi**’. En todos los sistemas lógicos es una ley universal válida para toda fórmula bien formada. Utilizando la notación de Bertrand Russell para el cálculo de enunciados ampliado lo podemos expresar del modo siguiente:

$$\mathbf{pi} \qquad \vdash \Lambda A(A \rightarrow A).$$

La defensa dialógica de su forma paramétrica¹, se desarrolla como sigue²:

	O		P
1(0)	A?	A	A → A 0
3(2)	?	...	2[0]1
		<u>?</u>	4(1)

¹ Se podría comenzar con fórmulas primas o atómicas, pero en los cálculos intuicionistas y clásicos vale la misma argumentación para fórmulas compuestas o moleculares.

² Ver LORENZEN 1987, 88. Se trata aparentemente de la forma “débil” del **pi**, pero la forma $A \leftrightarrow A$ sólo es aparentemente “más fuerte”. También se podría utilizar la forma más antigua $A = A$.

En este diálogo ‘P’ es el proponente y ‘O’ es el oponente. En la jugada número ‘0’ el proponente **P** afirma la forma paramétrica $A \rightarrow A$ de **pi**. El signo de interrogación ‘?’ es un signo de ataque. En la jugada 1(0) el oponente **O** ataca la tesis de la jugada 0, para lo que concede el antecedente A de esa implicación. Las fórmulas atacadas se mencionan entre paréntesis “()”. **P** defiende su tesis en 2[0]1 repitiendo ese antecedente ya admitido por el oponente en su ataque 1(0). Las defensas se mencionan entre corchetes “[]” y la repetición de una fórmula ya concedida por el otro dialogante (una “homología”) se escribe en negrita. La jugada 2[0]1 dice entonces que la jugada 2 defiende la jugada 0 repitiendo lo ya concedido en la jugada 1. A continuación **O** ataca en 3(2) con un *simple cuestionamiento*³ a la jugada 2 de **P**, pero éste, en vez de defender esa jugada, puede preguntar al oponente **O** por qué éste ya aseveró A en 1(0). Ahora el oponente debería defender A : “*Si él lo puede hacer, entonces el proponente sólo necesita copiar esa defensa, si no lo puede hacer, entonces el proponente ha ganado inmediatamente.*”⁴

La defensa clausura formalmente y la tesis **pi** $A \rightarrow A$ es una verdad lógica estricta. Esta justificación dialógica del principio de identidad es ciertamente defendible, pero contiene tácitamente un supuesto que no hemos discutido previamente y que por eso hacer parecer insuficiente su clausura formal: el oponente **O** podría objetar en el metalenguaje del diálogo que la presunta repetición del proponente **P** de A en 2[0]1 ya contiene una *petitio principii*: **P** supone el principio de identidad tan pronto como afirma tácitamente en su argumentación, que las dos diferentes apariciones de A en 1(0) y 2[0]1 son dos apariciones de *identidad típica* de un único signo. Pero entonces el proponente presenta su argumento decisivo: “*Es cierto, pero el oponente también supone el principio de identidad cuando ataca la implicación de la jugada inicial 0 mediante la admisión de su antecedente en 1(0), pues para ello él ha debido suponer la identidad típica de la A del antecedente de 0 con la A de su ataque en 1(0).*” Aquí lo decisivo

³ Ver la “regla de comienzo” en ROETTI 2014, cap. 7, primera sección.

⁴ LORENZEN 1987, 88: “*Kann er es, so braucht der Proponent diese Verteidigung nur nachzumachen, kann er es nicht, so hat der Proponent sofort gewonnen.*”

es que ambas *petitiones principii* son idénticas. Esto significa que cada ataque al principio de identidad ya lo reconoce como *pragmáticamente válido*.

Incluso en el caso de un cálculo paraconsistente en el que al menos para una fbf. sea defendible la implicación $A \rightarrow \neg A$ (que niega la “ley aristotélica” $\neg(A \rightarrow \neg A)$), también sería defendible la implicación $A \rightarrow A$. Eso sólo significaría que allí se puede defender una contradicción especial $A \wedge \neg A$, un resultado que es compatible con la legalidad de un cálculo paraconsistente. El principio de identidad es por lo tanto una *condición de posibilidad pragmática* de todo argumentar fundante, pues los pasos de ataque y defensa suponen: (1) la repetición de lo idéntico típico – que llamamos homología – y (2) eso idéntico típico es algo conjuntamente reconocido por el proponente y el oponente (es decir sólo podemos desarrollar un diálogo si admitimos la identidad intersubjetiva de lo aseverado).

Dicho brevemente, sólo los dialogantes que aceptan el **pi**, pueden participar de un dialogo de fundamentación: quien lo ataca sintáctica o semánticamente, ya lo presupone mediante su ataque (lo presupone pragmáticamente, en su obrar). Esto es una autofundamentación o “un principio demostrado por sí mismo”, como decía Łukasiewicz.⁵ Su forma recuerda a la *consequentia mirabilis* $(\neg A \rightarrow A) \rightarrow A$.⁶ Algunos autores, como Karl Otto Apel⁷, hablarían de una fundamentación trascendental-pragmática, que

⁵ŁUKASIEWICZ [17], 23: ... *ein “durch sich selbst bewiesenes Prinzip”*.

⁶ Esa ley se adjudicó a varios Autores, p. ej. PLATÓN, en *Theaitetos*, 171 a-b, probablemente también ARISTÓTELES, en *Protreptikos*, fragmento 2, EUCLIDES, CLAVIUS, CARDANO, SACCHERI y otros. Lo que quedó indeciso es quién fue el primero que la utilizó como una ley o regla lógica. La *consequentia mirabilis* está en cierta oposición a las llamadas “leyes aristotélicas” $\neg(\neg a \rightarrow a)$ und $\neg(a \rightarrow \neg a)$, que, a pesar de su actual buena fama entre los lógicos conexos, no son leyes del lenguaje objeto, sino leyes metalógicas, pero sólo para aquellos cálculos que son plenamente consistentes respecto de la negación. Cf. *An. Pr. B*, 4, 57b3-16. Respecto de la *consequentia mirabilis* enviamos a ŁUKASIEWICZ 21957, 49-51, 80 und BELLISSIMA-PAGLI 1996.

⁷ Vgl. z. B. APEL 1973, APEL 1982, APEL 1987, GETHMANN 1979, GETHMANN (ed.) 1980, GETHMANN (ed.) 1982.

formulamos así: “*Cuando durante el ataque contra una tesis t , la debemos suponer y usar forzosamente, entonces esa tesis t es necesaria en sentido trascendental-pragmático.*”

Consideremos las siguientes expresiones y junto a ellas sus significados:

‘ $?_xt$ ’ = ‘ x ataca la tesis t o ‘ x cuestiona la tesis t ,’

‘ $!_xt$ ’ = ‘ x usa t (cuando x ataca t)’ y

‘ $_{tp}t$ ’ = ‘ t es necesaria (en sentido trascendental-pragmático)’.

Entonces podemos simbolizar la metatesis trascendental-pragmática del modo siguiente:

$$(?_xt \rightarrow !_xt) \rightarrow _{tp}t.$$

Uno de los sentidos posibles del signo de interrogación “?” es el de negador pragmático, y el del signo de exclamación “!” es el de mandamiento afirmativo. En tal caso se advierte la similitud entre esta fórmula y la *consequentia mirabilis* (lo que de todos modos puede ser engañoso en sentido estricto, ya que, como ya advertimos en la discusión anterior, el signo de interrogación “?” tiene un significado más amplio que el de un negador).

Los ataques y las defensas son partes indispensables de un diálogo. ¿Pero en qué consiste un ataque, sino en negar de algún modo *lo mismo* que asevera la otra parte? ¿Y en qué consiste una defensa, sino en volver a aseverar de algún modo *lo mismo* previamente aseverado? Es decir, no se puede dialogar, criticar ni defender una tesis, sin usar el principio de identidad. La lógica como “órganon” o instrumento de fundamentación para una discusión racional no puede carecer entonces de ese principio. Y esto no surge de una descripción empírica del instrumento lógico, sino en virtud de una condición *a priori* del diálogo, de índole pragmática necesaria, que posibilita por primera vez su existencia. El principio de identidad es entonces una verdad sintética *a priori* en sentido pragmático trascendental, una verdad (y regla) absoluta, que vale en todo procedimiento de fundamentación posible.

Con lo anterior hemos expuesto, comentado y discutido el modo de presentación y justificación del principio de identidad tal como lo presentaron Wilhelm Kamlah (1905–1976), Paul Lorenzen (1915–1994) y Kuno Lorenz (1932–...). Sin embargo la forma originaria (o más antigua) del principio es la siguiente: $A = A$, que merece al menos un breve comentario. Si construimos un dialogo acerca de ella, encontramos que éste se reduce a lo siguiente:

O	P	
1(0) ?	$A = A$	0

El proponente **P** afirma el principio y el oponente simplemente lo cuestiona, sin negarlo. **P** no tiene modo de continuarlo y ganarlo de manera formal. Lo único que parece restarle al proponente es proponer una justificación material del principio, recurriendo a argumentos sobre la estructura del mundo y de la identidad, pero eso nunca concluye con un paso formal que lo justifique más allá de toda duda. Eso sería sólo una defensa material insuficiente. Pero hay una salida, cuando en su metalenguaje se advierte lo ya adelantado arriba: que un cuestionamiento como el 1(0) de **O** se refiere a lo mismo afirmado por **P** en 0: es decir, para cuestionar la tesis del oponente la debe mentar, la debe presumir al atacarla, y el proponente la debe presumir al defenderla. Advertimos entonces que no es posible atacar sin repetir lo atacado. Y esto no sólo cuando se dialoga con otro, sino también cuando uno discute consigo mismo y vuelve a lo previamente afirmado o negado, conjeturado o sospechado. Es decir, ni siquiera es posible hablar consigo mismo sin usar repetidamente el principio de identidad. Esta situación reitera la fórmula

$$(?_xt \rightarrow !_xt) \rightarrow _tp t$$

mencionada en la discusión de la forma paramétrica del **pi**: si ataco el principio, entonces lo uso necesariamente, en consecuencia se trata de un principio necesario de índole pragmática, previa a toda justificación material imperfecta.

1.2. *El principio de (no) contradicción.*

El segundo principio tradicional es el *principium contradictionis* (la *antíphasis* de Aristóteles), que no admite la verdad simultánea de dos enunciados contradictorios, en toda teoría que contenga negación. Abreviamos este principio con ‘**pnc**’. Mucho se ha escrito sobre él en la historia de la lógica y de la filosofía. Para más información enviamos a la literatura mencionada en ROETTI 1997a, 1997b, 2000a, 2014. Aquí nos ocuparemos sólo de algunos aspectos del problema que preocuparon a lógicos como Jan ŁUKASIEWICZ y a otros importantes autores del siglo XX.

La forma más conocida del **pnc** es $\vdash \neg(A \wedge \neg A)$, que es una ley de forma universal paramétrica que debería valer para todas las fbfs de cualquier lenguaje. En esta forma es un principio bastante ambiguo. Si lo cuantificamos universalmente tenemos $\vdash \Lambda A \neg(A \wedge \neg A)$, que es la forma más fuerte del principio. Sin embargo ésta no es la única interpretación posible. En un cálculo de enunciados constructivo ampliado tenemos seis formas posibles con cuatro niveles de fortaleza y sus correspondientes relaciones de derivación:

1. $\Lambda A \neg(A \wedge \neg A) \leftrightarrow \neg \forall A (A \wedge \neg A) \rightarrow$ (formas más fuertes del **pnc**)
2. $\forall A \neg(A \wedge \neg A) \rightarrow$ (forma existencial fuerte del **pnc**)
3. $\neg \neg \forall A \neg(A \wedge \neg A) \leftrightarrow \neg \Lambda A \neg \neg(A \wedge \neg A) \rightarrow$ (formas debilitadas de 2 del **pnc**)
4. $\neg \Lambda A (A \wedge \neg A)$. (forma más débil del **pnc**)

En ROETTI 1997a discutimos las formas del **pnc** de las líneas 1, 2 y 3. Allí se mostró que las formas más fuertes (línea 1) no son universalmente demostrables, sino sólo demostrables en cálculos específicos, y que se pueden fundamentar en general de modo insuficiente o “dialéctico”. En la defensa del diálogo sobre $\Lambda A \neg(A \wedge \neg A)$ se comete dos veces una *petitio principii*, como veremos con los pares de fbfs 0-1 y 5-6 en la defensa de su forma paramétrica $\neg(A \wedge \neg A)$, que damos a continuación:

	O	P	
		$\neg(A \wedge \neg A)$	0
1(0)	$A \wedge \neg A ?$...	
3[1]	A	I?	2(1)
5[1]	$\neg A$	D?	4(1)
		$A?$	6(5)3

En la jugada 1(0) **O** ataca la tesis negativa de **P** de acuerdo con las reglas para la negación con ' $A \wedge \neg A$ '. El proponente, según esas reglas, no puede defender 0, de modo que sólo puede atacar la contradicción que afirma el oponente en 1(0). Lo hace cuestionando *sucesivamente, en la misma rama del diálogo, dos veces la misma fbf.* en la jugada 2(1) ataca con I? la subfórmula izquierda de 1(0) y en la jugada 4(1) ataca con D? su subfórmula derecha. A esos ataques responde el oponente sucesivamente con las defensas 3[1] A y 5[1] $\neg A$. Finalmente en la jugada 6(5)3 el proponente ataca 5[1] repitiendo formalmente 3[1] con $A?$ Eso establece la homología, por lo que el diálogo, que tiene una sola rama, clausura formalmente. Esta forma fuerte del **pnc** sólo se puede ganar en los juegos dialógicos que permitan al proponente atacar una aserción cualquiera del oponente y no solamente su última aserción: estos son precisamente los juegos con las reglas intuicionistas y clásicas. Diálogos paraconsistentes no permitirían al proponente más de un ataque a una misma jugada del oponente. Y esto tiene un motivo: los dos ataques 2(1) y 4(1) a la jugada 1(0) del proponente obligan al oponente a defender los dos extremos de su contradicción, y luego el proponente copia la defensa 3[1] del oponente para atacar 5[1]. Pero esto supone que una contradicción cualquiera, como 1(0), es de antemano indefendible, lo que supone la validez irrestricta del **pnc** en su forma universal, que es lo que pretendemos demostrar, pero no hemos hecho aún. Si restringimos los ataques posibles a las jugadas del oponente, entonces no podemos demostrar esa forma universal de **pnc**.

Esta defensa del **pnc** es diferente de la del **pi**, porque *las correspondientes petitiones principii son diferentes entre sí*. Esto

se advierte inmediatamente cuando se ponen en conjunción el par de fórmulas de las jugadas 0 y 1, que nos da la “peculiaridad” $(A \wedge \neg A) \wedge \neg(A \wedge \neg A)$, y el par de fórmulas 5 y 6, que nos da la “peculiaridad” $A \wedge \neg A$: la primera “peculiaridad” se dice de “segundo grado” y la segunda de “primer grado”. En los cálculos paraconsistentes de Da Costa, que son absolutamente consistentes, si se acepta una peculiaridad de grado superior se debe aceptar las correspondientes peculiaridades de grados inferiores, por ejemplo:

$$\vdash (A \wedge \neg A) \wedge \neg(A \wedge \neg A) \rightarrow A \wedge \neg A,$$

pero no a la inversa: $A \wedge \neg A$ podría ser un ataque empíricamente justificado a $\neg(A \wedge \neg A)$, mientras que, por el contrario, A podría no ser un ataque genuino a $\neg A$, porque en este caso especial $A \wedge \neg A$ podría ser una contradicción defendible, mientras que podría ser inaceptable la contradicción $(A \wedge \neg A) \wedge \neg(A \wedge \neg A)$. Hegel propone ejemplos de esta índole, cuando expresa que algo se mueve “*cuando él está y no está simultáneamente en este aquí*”.⁸ Esto se revela como una peculiaridad de primer grado, entendida como una verdadera contradicción. Sin embargo no parece adecuado afirmar que Hegel hubiese considerado verdadera también la siguiente peculiaridad de segundo grado: *algo se mueve cuando está y no está simultáneamente en este aquí, y no es el caso que esté y no esté simultáneamente en este aquí*. De esta discusión surge que las dos primeras formas del **pnc** dadas arriba son tesis dialécticas, que casi siempre se pueden defender empíricamente de modo insuficiente, pero no se pueden demostrar para todo sistema lógico. Por su parte la forma existencial fuerte de la segunda línea es demostrable en un sistema paraconsistente con una lógica constructiva tan pronto como se tenga un caso empírico de no contradicción. Las formas de **pnc** de las líneas 3 y 4 son en cambio demostrables para todo cálculo. Mostramos esto a continuación para la forma más débil de la línea 4:

⁸ HEGEL 1812-1816, 2. libro 1, sección 2. cap. C, comentario 3: “...*indem es in diesem Hier zugleich ist und nicht ist*”. Cf. por ejemplo RASPA 1999, 114.

Si el oponente no admite ninguna fundamentación empírica para un enunciado de la forma $\neg(B \wedge \neg B)$, entonces rechaza incluso la forma 2 del **pnc**. Pero esto significa que:

1. El oponente rechaza una condición necesaria de todo diálogo cooperativo, a saber aquella que requiere que *cada ataque de ocasión a una defensa material o formal*. Si no se admite que un ataque de ocasión a una defensa se aniquila al otro como dialogante pues se torna sin sentido participar en un diálogo.
2. Además tal actitud presupone la aceptación tácita de un presunto “principio de contradicción ilimitada” $\Lambda A(A \wedge \neg A)$, cuya forma contradictoria es la forma más débil del **pnc** $\neg \Lambda A(A \wedge \neg A)$. Ésta es la forma 4 del **pnc**, que por su parte se puede defender de forma suficiente o perfecta. Resumiendo, su fundamentación se presenta así⁹:

Quien afirme la forma contradictoria de 4, $\Lambda A(A \wedge \neg A)$, no puede atacar ninguna tesis, porque esa forma permite la defensa trivial de cualquier tesis. En una situación tal no se podría discutir ninguna tesis: todo sería trivialmente defendible y nada cuestionable. Por eso se puede afirmar lo siguiente: quien afirma el “principio de contradicción ilimitada” $\Lambda A(A \wedge \neg A)$, no puede participar de ningún diálogo, porque para él no habría nada que discutir. Quien, por el contrario, participa de un diálogo, debe al menos admitir que algunos enunciados son cuestionables. Pero esto sólo ocurre si no todo enunciado es trivialmente defendible, y esto equivale a admitir la forma más débil del **pnc**. En consecuencia, un diálogo cooperativo sólo es posible, cuando ambos dialogantes reconocen y obedecen al menos la forma 4: $\neg \Lambda A(A \wedge \neg A)$. Esta forma debilísima del **pnc** equivale a la consistencia sintáctica absoluta de un lenguaje y es una condición pragmática necesaria (metalingüística) de cualquier intento cooperativo de fundamentación, por lo que es válida en cualquier sistema lógico.

1.3. *El principio de tercero excluido.*

⁹ Una fundamentación más detallada de esta versión débil del **pnc** se encuentra en ROETTI 1997a, 75-76.

El tercer principio clásico es la conocida ley del “tercero excluido” o *tertium non datur*” que abreviaremos ‘**tnd**’. La situación actual del **tnd** es más fácil de describir, porque la conocida discusión entre intuicionistas y formalistas fue muy fructífera. Consideremos ahora los desarrollos dialógicos posibles para la forma paramétrica $A \vee \neg A$ de la tesis fuerte del tercero excluido $\Lambda A(A \vee \neg A)$ en los dos sistemas de juegos dialógicos que consideramos en este trabajo, el intuicionista **I** y el clásico **C**. Los desarrollos posibles en **I** de este tradicional – pero discutido – principio, están representados por dos contingencias accidentales (ca) cuyos desarrollos mostramos a continuación:

$$\begin{array}{l}
 \text{(ca)} \\
 0 \\
 1(0) \ ? \\
 2[0] \\
 3(2) \ ? \\
 4(3)
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \parallel \\
 A \vee \neg A \quad 0 \\
 \parallel \\
 A \quad 2[0] \\
 \parallel \\
 A \quad 2[0] \\
 \parallel \\
 A \quad 2[0] \\
 \parallel \\
 A \quad 2[0]
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \parallel \\
 A \vee \neg A \\
 \parallel \\
 \neg A \\
 \parallel \\
 \dots \\
 \parallel \\
 ?
 \end{array}$$

El proponente debe elegir sus defensas de la tesis. En el diálogo de la izquierda el proponente defiende en la jugada 2 con A y gana materialmente si puede defender la fbf. A . En el diálogo de la derecha defiende con $\neg A$ y gana materialmente, si su oponente no puede defender materialmente A . En ninguno de los dos diálogos hay homología formal y por lo tanto no hay victoria formal para el principio **tnd** en los diálogos intuicionistas **I**. Por eso es que el tercero excluido no es una ley universal en esos diálogos. Para que lo fuera, deberíamos modificar la regla de desarrollo para el proponente, liberalizando las defensas. Cuando pasamos al juego de diálogos clásicos **C** sí tenemos una defensa formal del tercero excluido, como vemos en el siguiente desarrollo:

$$\begin{array}{l}
 \mathbf{C} \\
 1(0) \ ? \\
 3(2) \ A?
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \parallel \\
 A \vee \neg A \quad 0 \\
 \parallel \\
 \neg A \quad 2[0] \\
 \parallel \\
 \underline{A} \quad 4[0] \mathbf{3}
 \end{array}$$

El desarrollo comienza como el del segundo diálogo anterior, pero en este caso, ante el ataque 3(2) $A?$ del oponente, el

proponente puede volver a defender la tesis 0 con su jugada A en $4[0]3$, con lo que obtiene una homología formal. Esta defensa es la de una aseveración previa que no es la última, lo que está permitido en las reglas de desarrollo para los diálogos clásicos \mathcal{C} . Así mostramos que en los juegos I el principio fuerte de tercero excluido no es formalmente defendible, pero sí lo es en los juegos \mathcal{C} .

Como vemos en la lógica clásica se fundamenta suficientemente la forma fuerte del **tnd** $\Lambda(A \vee \neg A)$ de modo inmanente, mientras que en la lógica intuicionista no se lo demuestra universalmente. Además en el intuicionismo la forma débil del principio $\forall A(A \vee \neg A)$ sólo vale para casos especiales. En la lógica intuicionista se puede por lo tanto afirmar $\forall A(A \vee \neg A)$, pero sólo una vez que se haya demostrado al menos una ley de esa forma lógica, lo que efectivamente ocurre, por lo que podemos afirmar que la figura débil del **tnd** es necesaria inmanentemente en esa lógica. De todos modos, incluso entonces, eso no asegura que $\forall A(A \vee \neg A)$ sea demostrable *en todos los cálculos posibles*. En efecto, se puede elaborar un cálculo especial en el que ningún predicador satisfaga la condición básica del **tnd**, que es la equivalencia $\vdash A \leftrightarrow \neg\neg A$. Para ello “sólo” se necesita escoger los predicadores adecuados y mediante reglas adecuadas evitar todas aquellas composiciones de fórmulas que causan su validez.

2. Resumen.

La cuestión de los fundamentos de los principios lógicos clásicos se puede resumir del modo siguiente:

2.1. La forma más fuerte del **pi** $\Lambda(A \rightarrow A)$ – y por lo tanto también su forma más débil, que es $\forall A(A \rightarrow A)$ – se puede fundamentar *suficientemente de un modo trascendental*. Ella pertenece a la “epistéemee”, por lo que se demuestra y valida, *también inmanentemente*, en todo cálculo lógico posible.

2.2. En cambio la forma más fuerte del **pnc** $\Lambda A \neg(A \wedge \neg A)$ no es fundable con independencia de la teoría del caso. Por lo tanto es un enunciado fundable de modo insuficiente o dialéctico, es decir

es una “pístis” muy confiable en sentido platónico. En ciertos dominios (p. ej. los dominios prácticos de la ética y el derecho) ocurre sin embargo que su validez es epistémica, como ya lo mostrara Aristóteles.¹⁰ Pero no se puede aseverar que eso ocurra en todos los dominios teóricos.

2.3. Las formas más débiles del **pnc**, $\neg\neg VA\neg(A\wedge\neg A)$ y $\neg\Lambda A(A\wedge\neg A)$, son por el contrario *principios suficientemente fundados in sentido trascendental*, que en consecuencia valen *también inmanentemente* en cada cálculo posible.

2.4. Ninguna de las formas del **tnd**, ni la más fuerte $\Lambda A(A\vee\neg A)$, ni la más débil $VA(A\vee\neg A)$, puede alcanzar el estado de un enunciado suficientemente fundado *en sentido trascendental*. En tal sentido ellas sólo alcanzan el estado de enunciados insuficientemente fundados. En sentido inmanente todas las formas del **tnd** pueden alcanzar una fundamentación suficiente en ciertos cálculos, como ocurre en la lógica clásica, o sólo su forma más débil, como ocurre en los diálogos constructivos. En sentido trascendente no existe ninguna forma del **tnd** que se fundamente suficientemente. Todas sus formas se fundamentan sólo dialécticamente. En lógicas como la intuicionista se pueden demostrar sucedáneos del **tnd**, como por ejemplo el siguiente “*quintum non datur*”: $A\vee\neg A\vee\neg\neg A\vee\neg\neg\neg A$, en la que $\neg\neg\neg A$, significa “no demostrado”. El *quintum non datur* significa entonces que en la lógica intuicionista para toda fbf. A , o bien hay una demostración para ella, o para su negación, o para su doble negación, o no hay ninguna de estas tres demostraciones, y no se da una quinta posibilidad.

3. Epílogo.

Es importante enfatizar estas diferencias esenciales entre los principios en el dominio trascendental. Las fbf.s **pi** $\Lambda A(A \rightarrow A)$, **pnc** $\neg\neg VA\neg(A\wedge\neg A)$ y $\neg\Lambda A(A\wedge\neg A)$ son principios suficientemente

¹⁰ Esto ocurre por ejemplo en el dominio de la acción y del derecho, como lo explican Aristóteles y Rescher. Ver los detalles en ROETTI 1997a, 53-54, 1997b y 2000.

fundables de modo trascendental y por eso partes constituyentes de una protológica del fundamento suficiente. Las fbfs $\Lambda A \neg(A \wedge \neg A)$, $\Lambda A(A \vee \neg A)$ y $\vee A(A \vee \neg A)$, y las otras formas de principios no tratadas explícitamente, no pueden ser, en cambio, partes constituyentes de una protológica tal. No obstante ello, son elementos de una “lógica dialéctica”, que se ocupa con las reglas de las consecuencias insuficientemente fundadas. Esto no niega, no obstante, que todos los principios mencionados se puedan fundar suficientemente – es decir demostrar – “de modo inmanente”, es decir dentro de un cálculo lógico determinado.

4. Bibliografía.

- APEL 1982: APEL, Karl-Otto (ed.): *Sprachpragmatik und Philosophie*, Frankfurt/Mn.: Suhrkamp, 1982.
- BELLISSIMA-PAGLI 1996: BELLISSIMA, Fabio e PAGLI, Paolo: *Consequentia Mirabilis. Una regola logica tra matematica e filosofia*, Firenze: Leo Olschki Editore, 1996.
- GETHMANN 1979: GETHMANN, Carl Friedrich: *Protologik. Untersuchungen zur formalen Pragmatik von Begründungsdiskursen*, Frankfurt/Mn.: Suhrkamp, 1979.
- GETHMANN 1980: GETHMANN, Carl Friedrich (Hg.): *Theorie des wissenschaftlichen Argumentierens*, Frankfurt: Suhrkamp, 1980.
- GETHMANN 1982: GETHMANN, Carl Friedrich (Hg.): *Logik und Pragmatik*, Frankfurt: Suhrkamp, 1982.
- HEGEL 1812-1816: HEGEL, Georg Wilhelm Friedrich: *Wissenschaft der Logik*, Nürnberg, 1812-1816, reelaborada en 1831. Citamos por la traducción de Augusta y Rodolfo Mondolfo: *Ciencia de la lógica*, Buenos Aires: Ediciones del Solar, 1982, dos tomos, ISBN 950-0086-00-X-O.C.
- LORENZEN 1987: LORENZEN, PAUL: *Lehrbuch der konstruktiven Wissenschaftstheorie*, Manheim/Wien/ Zürich: Bibliographisches Institut, 1987.
- ŁUKASIEWICZ ²1957: ŁUKASIEWICZ, Jan: *Aristotle's Syllogistic from the Standpoint of Modern Formal Logic*, Oxford: Clarendon Press, ²1957.
- ÖFFENBERGER-VIGO 1997: ÖFFENBERGER, Niels & VIGO, Alejandro: *Zur modernen Deutung der Aristotelischen Logik*, Bd. VII (*Südamerikanische Beiträge zur modernen Deutung der Aristotelischen Logik*), Hildesheim: Georg Olms Verlag, 1997.
- ÖFFENBERGER-SKARICA 2000: ÖFFENBERGER, Niels und SKARICA, Mirko: *Zur modernen Deutung der Aristotelischen Logik*, Bd. VIII (*Beiträge zum Satz vom Widerspruch und zur Aristotelischen Prädikationstheorie*), Hildesheim: Georg Olms Verlag, 2000.

RASPA 1999: RASPA, Venanzio: *In-contraddizione. Il principio di contraddizione alle origini della nuova logica*, Trieste: Edizioni Parnaso, 1999, 368 p.

ROETTI 1997a: ROETTI, Jorge Alfredo: „Der Satz vom Widerspruch: dialogische und pragmatische Begründung“, en ÖFFENBERGER–VIGO 1997, 49-81.

ROETTI 1997b: ROETTI, Jorge Alfredo: „Lukasiewicz und der Satz vom Widerspruch: Einige Kommentare und kritische Bemerkungen“, in ÖFFENBERGER – VIGO 1997, 261-287.

ROETTI 2000: ROETTI, Jorge Alfredo: „Der praktische Satz vom Widerspruch. Eine Rechtfertigung der Aristotelischen Hauptintuitionen“, en ÖFFENBERGER-SKARICA (eds.) 2000, 50-70.

ROETTI 2014: ROETTI, JORGE ALFREDO: *Cuestiones de fundamento*, - 1ª. Ed. - Buenos Aires: Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires, 20 de octubre de 2014, libro, 302 p. 22 x 15 cm. ISBN 978 987 537 130 9.

**SOBRE DIAGRAMAS, FÓRMULAS Y TEXTO EN LA
FILOSOFÍA DE LAS CIENCIAS FORMALES**

Por Javier Legris

TEXTO NO DISPONIBLE