

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA**

**UNIDAD DE POSGRADOS**

**FACULTAD DE HUMANIDADES Y  
CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS HUMANAS  
OPCIÓN FILOSOFÍA CONTEMPORÁNEA**

**CURSO POSGRADO:  
COMPUTACIÓN CUÁNTICA**

**BUDA, KANT  
Y LA FÍSICA MODERNA**

**Lugar: Facultad de Ingeniería, Instituto de Física**

**Profesores: Ing. Ricardo Siri, Dr. Gonzalo Abal,  
M.Sc. Sergio Nesmachnow, Dr. Shelankov**

**Estudiante: Ing. Luis Mazas (1.735.122-6)**

## **ABSTRACT**

El Budismo, el Kantismo y la Física Cuántica - que en muchos contextos parecerían no tener mucha relación – permiten, a partir de un análisis más fino, elaborar un hilo conductor a través del concepto básico del tiempo y de las concepciones utilizadas para comprender e interpretar la realidad física que nos rodea.

Se realiza un análisis de los textos considerados relevantes de Budismo, Kantismo y Física Cuántica, a los efectos de poner en evidencia las semejanzas y contrastes relacionados con el concepto de tiempo y la interpretación de la Mecánica Cuántica, como modelo de comprensión de la realidad física.

De las filosofías de Buda y Kant, se han extraído ciertas ideas que aplico a la Física Moderna con el objetivo de poder mejorar la visión científica sobre la naturaleza. Para ello se analizan ciertos postulados metafísicos de las ciencias, y se sustituyen por las ideas antedichas. De esta manera, se espera concluir que ciertas antinomias planteadas se disuelven bajo esta nueva perspectiva.

## ÍNDICE

<u>1) BUDA</u>	5
<u>1.1) LA IMPERMANENCIA BUDISTA Y EL TIEMPO</u>	5
<u>2) KANT</u>	7
<u>2.1) EL TIEMPO EN KANT</u>	7
<u>2.2) LA CIENCIA EN KANT</u>	10
<u>2.3) KANT Y EL IDEALISMO</u>	13
<u>3) LA FÍSICA MODERNA</u>	14
<u>3.1) EL TIEMPO EN LA FÍSICA MODERNA</u>	14
<u>3.2) LA MECÁNICA CUÁNTICA</u>	18
<u>4) RELACIONES ARGUMENTALES</u>	25
<u>4.1) LA OBJETIVIDAD Y EL REALISMO</u>	25
<u>4.2) IDEAS BUDISTAS Y KANTIANAS</u>	31
<u>4.3) LA MATEMÁTICA Y LAS CIENCIAS DE LA NATURALEZA</u>	32
<u>4.4) EL TIEMPO</u>	34
<u>4.5) LA MECÁNICA CUÁNTICA</u>	36
<u>UN EJEMPLO CONCRETO: LA COMPUTACIÓN CUÁNTICA</u>	37
<u>REFLEXIONES FINALES</u>	45
<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	48

# BUDA, KANT Y LA FÍSICA MODERNA

*“These respected [ancient] authors discovered the game when the joy of thinking was young enough to allow crazy ideas to be proposed. We know much more than they did but we are too afraid to be crazy, so that the progress of science adds little to philosophy. We do not enjoy ourselves, we are boring, and what we do never changes the setting of the play.” Roland Omnès.*

## INTRODUCCIÓN

En el momento en que estudié las filosofías de Kant y de Buda, me impresionaron ciertos conceptos contenidos en ellas que inspiraron algunas ideas en mí. A partir de entonces, cuando analizaba en profundidad ciertos temas que son tratados en las ciencias como el tiempo, la luz, la Física Cuántica, etc., me preguntaba por qué en las teorías científicas en que estos temas estaban involucrados, no se aplicaban los conceptos mencionados. Yo estaba convencido de que su aplicación iba a dejar más claros algunos puntos, que en principio aparecían oscuros. El propósito de este trabajo es utilizar estos conceptos y las ideas derivadas de ellos, para analizar estos importantes temas y mostrar que quizás podrían verse mejor con una nueva luz.

Los temas elegidos, son el concepto del tiempo y los modelos teóricos planteados a partir de la Física Cuántica, que serán tratados de la siguiente manera. Primero, veremos como en el Budismo se trata la concepción del tiempo y con él iremos analizando la manera en que esta filosofía ve lo que nosotros llamamos el mundo exterior a nuestra conciencia, y qué relación se podría encontrar entre esta concepción y la ciencia moderna a través del tiempo. En segundo lugar, trataremos la forma en que Kant pensaba que conocemos al mundo, y ahí hablaremos del tiempo, principalmente, y del espacio concomitantemente, además del funcionamiento del aparato cognoscitivo humano. Luego pasaremos a analizar cómo es posible la ciencia y cual es el papel de la matemática en ella, según el kantismo. Además, veremos como se defiende Kant de la acusación de idealismo de que fue objeto en su momento.

Cuando pasemos a analizar los temas antes mencionados desde el punto de vista de la ciencia moderna, tendremos dos partes bien marcadas, una para cada uno de ellos. En la primera, haré una pequeña historia del concepto de tiempo dentro de la ciencia considerada desde Galileo hasta la Mecánica Cuántica, pasando por la Relatividad y la matematización del concepto de tiempo por Bunge. En la segunda, hablaré de la relación entre el modelo conceptual y los objetos de estudio de la Mecánica Cuántica desde la interpretación dada por Roland Omnès [16], que retomaré más adelante. De éste analizaré la solución que da a los problemas metafísicos planteados por él mismo.

En la siguiente parte, aplicaré las ideas extraídas de los sistemas budista y kantiano a las preguntas planteadas por Omnès e intentaré llegar a responderlas. Para ello, analizaré primero los problemas sobre la objetividad y el realismo de la interpretación de Omnès sobre la ciencia representada por la Mecánica Cuántica, la solución que él da a ellos y luego veremos aquellos problemas que no menciona y que se derivan de sus propias soluciones. En el segundo punto, describiré las ideas

budistas y kantianas que seleccioné de sus filosofías. En el tercero, aplicaré estas ideas a los temas planteados por Omnès sobre la lógica y la matemática, y mostraré como se puede solucionar de otra manera. En el cuarto, haré lo mismo en el caso del tiempo y, finalmente, en el quinto, las aplicaré a la Física Cuántica.

Por último, analizaré un ejemplo concreto de la aplicación de la Mecánica Cuántica: la Computación Cuántica. A través de ésta, veré cómo aplicando las ideas antedichas se puede ver con una nueva luz los problemas planteados por el intento de construir esta nueva aplicación tecnológica a partir de las teorías que se tiene a disposición.

Todo este proceso se realizará a partir del análisis de los contenidos en los textos considerados relevantes de Budismo, Kantismo y Física Cuántica, a los efectos de poner en evidencia las semejanzas y contrastes relacionados con el concepto de tiempo y la interpretación de la Mecánica Cuántica, como modelo de comprensión de la realidad física. Para realizar este trabajo se extraerán las ideas fundamentales de cada texto y se realizarán las comparaciones respectivas con énfasis en los aspectos cualitativos de las ideas antes mencionadas.

## **1) BUDA**

### **1.1) LA IMPERMANENCIA BUDISTA Y EL TIEMPO**

Cuando un discípulo le preguntó a Siddhartha Gautama, el Buda, qué era el tiempo, él le contestó: “No tengo ningún tiempo. No existe el tiempo. El tiempo es sólo la conciencia individual de cada persona de lo largo y de lo corto, eso es todo.” Para el Buda, el tipo de tiempo que llamamos “tiempo físico” o “tiempo absoluto” newtoniano no existe. Sólo reconocía el tipo de tiempo que llamamos “tiempo psicológico” o “tiempo subjetivo”. Para él, si somos felices el tiempo pasa rápido; si no, pasa lentamente.

El tiempo depende de las cosas; sin ellas, no existiría. Por eso las enseñanzas del Buda y el Budismo sobre el tiempo están basadas en la doctrina de la *impermanencia*. Tanto en el nivel macrocósmico como en el microcósmico: “todos los seres nacen, envejecen, se enferman y mueren”. De la misma manera, “el sistema del mundo llega a ser, alcanza estabilidad, decae y deja de ser”, a través de ciclos, que son el resultado de una “compleja red de causas *kármicas*” producidas por los distintos seres vivos que componen este sistema. Lo mismo se puede aplicar a cada momento del pensamiento, i.e. al alma humana: llega a ser, permanece, decae y desaparece.

De acuerdo a las enseñanzas del Buda, no hay un dios creador, y nunca señaló si hubo o no un comienzo del Universo. Los seres humanos, vemos este Universo como una serie sin fin de transformaciones de materia, energía y mente al través del tiempo. Esta visión no es real, pertenece al reino de la ilusión. Entonces, los seres vivos no tienen ningún origen, y el alma humana no es eterna; la creencia en su eternidad es una ilusión.

La impermanencia es la doctrina budista que afirma, básicamente, que nada permanece igual en dos momentos consecutivos. Debe ser usada como un instrumento para ayudarnos a penetrar profundamente en la realidad y obtener una visión liberadora. Sin impermanencia, la vida no sería posible. Ella permite la transformación de nuestro sufrimiento, la justicia social, la esperanza, el

devenir. Nuestro sufrimiento es producto de nuestra creencia de que las cosas son permanentes, no de la impermanencia. Si fuéramos conscientes de ésta, nos volveríamos positivos, amantes y sabios. Ella es sinónimo de buenas nuevas, es decir, del cambio para bien y no para mal. Abre las puertas para este cambio y para nuestra liberación.

Víctor Mansfield, profesor de Física y de Budismo, cree que la visión del tiempo que tiene el budismo, expresada por la “Consequence School of Middle Way Buddhism”, o “Prasangika Madhyamika”, con gran influencia en el Tíbet, tiene algo relevante para aportar a la Física Moderna Occidental.

De acuerdo a la escuela Madhyamika, la doctrina de la impermanencia está relacionada con el concepto de “vacío” o “vacuidad”. La vacuidad niega la existencia inherente o independiente de los fenómenos objetivos y subjetivos del mundo. Para el Budismo, las esencias no existen. Cuando analizamos profundamente un fenómeno objetivo o subjetivo para encontrar su esencia, lo que encontramos es que el hipotético objeto independiente está profunda e inextricablemente relacionado con su entorno y el observador, el sujeto que está haciendo el análisis. La creencia en la existencia inherente de los fenómenos es la base de nuestros deseos y aversiones. Sólo cuando podamos arrancar de raíz de nuestra alma esta falsa creencia, podremos realizar nuestra potencialidad para lograr el estado de Buda, i.e. para convertirnos en “faros” de compasión y sabiduría.

Cada fenómeno es dependiente en tres maneras diferentes:

- 1) De las causas y condiciones, es decir, de la vasta red de factores causales y condiciones que lo hacen posible.
- 2) De las relaciones entre el todo y sus partes, y sus interrelaciones. La creencia en su existencia independiente nos hace imaginar que tiene una esencia unitaria, que no puede dividirse en partes. Sin embargo, sí tiene relaciones entre su totalidad y sus partes componentes, por ejemplo: un árbol con su tronco, sus ramas, raíces, etc.
- 3) De la clasificación mental del sujeto (i.e. formalización). El sujeto recibe constantemente gran cantidad de información que analiza, clasifica, nombra, etc., extrayendo de los datos empíricos aquellos que nos ayuden a comprender formalmente lo recibido. Esto es parte del trabajo normal de la mente humana. Lo que sería ilegítimo es creer que estos objetos que analizamos efectivamente tienen existencia independiente. Esta creencia la proyectamos sobre el mundo que estamos construyendo, y luego sufrimos las consecuencias de esta proyección.

Debemos eliminar esta creencia y así podremos salir del mundo del sufrimiento y de la rueda de *samsara*, i.e. de las reencarnaciones. En verdad, todos los fenómenos existen sólo como un conjunto de relaciones o dependencias entre sus partes, los otros objetos y el observador, que mentalmente los denomina. No existe nada aparte de estas relaciones de dependencia y nombres. En otras palabras, dependen de las causas y condiciones, del todo y sus partes, y de la designación mental. La *vacuidad* o falta de existencia independiente de los fenómenos es lo que les permite funcionar a través de sus relaciones. Si los fenómenos existieran independientemente, por

necesidad, el mundo sería inmutable e impotente, incapaz de actuar sobre nosotros, y nosotros sobre él.

El pináculo de esta visión de los fenómenos del mundo viene cuando nos planteamos la vacuidad de la existencia independiente de mi propio *yo*. El budismo afirma esta vacuidad: el *yo* no existe independientemente del mundo. Todo nivel identificable de subjetividad carece de existencia independiente. Por el contrario, la creencia en esta manera de existir, nos encadena al sufrimiento de la rueda de *samsara*; es la fuente de nuestros deseos y aversiones, nos lleva al egoísmo, a poner nuestros asuntos y deseos por encima de todo.

La negación de la existencia independiente no implica la inexistencia de los objetos, no es un nihilismo extremo. La tarea fundamental de la doctrina del budismo “Middle Way” es evitar la confrontación de los opuestos, en este caso, entre el dogmatismo del realismo y el escepticismo del nihilismo. Los objetos tienen una existencia convencional y nominal, proveyándonos de ayuda o dolor, pero no son independientes. Esta idea está formalizada en la *Doctrina de las Dos Verdades*: todos los fenómenos objetivos o subjetivos carecen de existencia independiente en realidad, pero en el mundo de la acción diaria, tienen una existencia convencional; funcionan así y deben utilizarse en este nivel.

La doctrina de la vacuidad o falta de existencia independiente es la que garantiza que todos los fenómenos sean impermanentes, evolucionando sin cesar, madurando, decayendo, transformándose, en otras palabras: deviniendo. La vacuidad y la impermanencia son dos caras de la misma moneda de la existencia.

## **2) KANT**

### **2.1) EL TIEMPO EN KANT**

La ideología kantiana afirma que a los objetos del universo, y los movimientos y/o cambios que ellos experimentan, no podemos conocerlos más de lo que la estructura de nuestra mente nos deja. En palabras mías, yo afirmaría que es la estructura gnoseológica *formal* de nuestro aparato sensitivo y mental, la que nos posibilita y a la vez limita, el conocimiento de estos objetos. De esta manera, la naturaleza exacta de los objetos en sí, nos es totalmente desconocida. A estos objetos en sí y sus movimientos y/o cambios en sí (como son en realidad), el kantismo los denomina *nóúmenos*, y a los objetos; y a sus movimientos y/o cambios, como nosotros los conocemos, los llamó *fenómenos*.

Nuestro aparato gnoseológico tiene ciertas funciones y elementos estructurales, dados *a priori* (i.e. antes e independientemente de toda experiencia) en nuestra constitución física y psíquica, que condicionan el acceso a las características esenciales de los *nóúmenos*; estos elementos y funciones sólo posibilitan nuestro conocimiento de algunas propiedades y funciones de las cosas en sí: las que conforman los fenómenos. En definitiva, al hablar de fenómeno estamos hablando de que existe un sujeto intentando conocer un *nóúmeno*, pero no puede hacerlo tal como éste es en sí mismo, sino como las condiciones *a priori* de su aparato cognoscente se lo permiten conocer.

El tiempo, junto con el espacio, son las condiciones *a priori* de lo que Kant llama la “intuición

sensible”. Los fenómenos que se dan en el espacio y en el tiempo son movimientos de los objetos en el devenir. Se puede concebir un tiempo sin que suceda ningún fenómeno, pero no un fenómeno que no esté en el tiempo. No se puede tener el concepto de tiempo sin la existencia e intervención de un sujeto conociendo un fenómeno. Ese fenómeno cae en una especie de esquema de espacio y tiempo, que es independiente de la experiencia; no está contenido en el objeto, sino que es la pura posibilidad de conocer del sujeto cognoscente. Por esto, el tiempo no es una cosa que exista en sí misma.

Este esquema espacio-temporal existe dentro de la intuición sensible del sujeto como *especies puras*, es decir, no es una elaboración mental extraída de los objetos, es un esquema que permite un conocimiento inmediato del fenómeno y lo coloca en una especie de entramado tetradimensional, tres coordenadas del espacio y una coordenada del tiempo. Con las primeras, lo ubica en el lugar que ocupó y/u ocupa en el espacio; y con la última, el lugar en la línea de sucesiones en que ocurre, con respecto a otros fenómenos (según el antes y el después, diría Aristóteles).

El tiempo es, junto con el espacio, una de las formas a priori que la intuición le impone a los objetos para poder percibirlos e interpretarlos. No tenemos la percepción directa del tiempo, sólo la habilidad de experimentar fenómenos **en** el tiempo. Cuando los experimentamos es cuando caen en el esquema espacio-temporal, y es en este momento cuando comienza nuestra posibilidad de conocerlos. Al dejar de hacerlo, entonces ya no están en el tiempo. Además, el espacio y el tiempo no tienen valor ni sentido fuera de los fenómenos.

Cuando habla de lo que hacemos al momento de conocer, Kant se refiere al *sujeto trascendental*, es decir, a un sujeto ideal que posee todas las cualidades comunes a todos los seres humanos, un aparato cognoscitivo que todos los sujetos humanos compartimos. De alguna manera nos representa a todos los seres humanos tanto individual como colectivamente. En palabras contemporáneas, al referirnos al tiempo estamos hablando del tiempo *intersubjetivo*, de toda la Humanidad.

El resultado de aplicarle a los fenómenos el esquema espacio-temporal que reside en la intuición sensible del sujeto más las impresiones de ésta, es lo que recibe el *entendimiento* para clasificarlo dentro de los casilleros existentes a priori en él, que Kant (como Aristóteles) les llamó *categorías*. De esta manera, podemos elaborar nuestras teorías y conocimientos racionales sobre los fenómenos. Pero esto origina un problema: las intuiciones sensibles son de una naturaleza diferente a las categorías del entendimiento. Según Kant, la facultad humana que vincula ambas naturalezas es la imaginación, a través del tiempo que, como elemento a priori de la sensibilidad interna, condiciona a las categorías del entendimiento. Además, mediante la imaginación nos representamos el pasado (como recuerdo) y el futuro (como expectación de lo que vendrá).

Como ejemplos de condicionamiento del tiempo de las categorías:

- La categoría de “Sustancia” es “la permanencia de lo real en el tiempo”.
- La categoría de “Causalidad” es “la sucesión de la diversidad, en tanto que sometida a una regla”.
- La categoría de “Necesidad” es “la existencia de un objeto en todo tiempo”.



- La categoría de “Posibilidad” es “la determinación de la representación de una cosa con relación a un tiempo dado”, etc.

Así en la teoría kantiana, el tiempo es la condición **subjetiva** que permite una “objetividad real” de los seres, siempre dentro de los límites de los fenómenos; en desacuerdo con sus predecesores, en los que espacio y tiempo son propiedades **objetivas**, es decir, del ser.

Las consecuencias de esta revolución del pensamiento filosófico son significativas como nos lo permite ver una de las antinomias planteada por el propio Kant sobre un tema tratado por sus predecesores:

Tesis: “El mundo tiene un comienzo en el tiempo y se halla limitado en el espacio”.

Antítesis: “El mundo no tiene ni comienzo en el tiempo, ni límite en el espacio: es infinito, tanto en el tiempo como en el espacio”.

Kant dice que no podemos pronunciarnos ni por una ni por otra, ya que ninguna de las dos afirmaciones nos es dada por la intuición sensible, en donde debe comenzar todo conocimiento. Es un planteamiento que no tiene sentido.

En resumen, la teoría kantiana da un lugar de privilegio al tiempo, aunque compartido por el espacio. Aparece como uno de los dos elementos sin los cuales no le es posible percibir ni inteligir nada al ser humano. Es una especie de herramienta básica del hombre para poder conocer y transformar el mundo y sus objetos considerándolos como fenómenos y no como son en sí.

Según Kant, sólo se podría plantear metafísicamente, a través de la dialéctica, algunas preguntas sobre cómo son en sí. Las respuestas a ellas (en ciertos casos) pueden resolverse válidamente en dos vertientes con sentidos opuestos: nos llevan a antinomias, a cuestiones que no tienen sentido. Por lo que, sobre este tema, suspende su juicio, ya que no hay ninguna manera racional válida necesaria y universalmente de decidírnos por una respuesta sobre otra que resuelva alguna cuestión metafísica.

## 2.2) LA CIENCIA EN KANT

Luego de haber hecho algunas reflexiones sobre la concepción kantiana del tiempo, abordaré ahora otro concepto que a Kant le preocupaba: la *ciencia*. Primero veremos a qué le llamaba Kant “ciencia”. Según él, una doctrina, para ser llamada así debería estar ordenada sistemáticamente (i.e. formar un sistema) y, además, ser racional.

*Racional* porque su certeza debe ser apodíctica, i.e. ser absolutamente necesaria y no debe referirse a base alguna de la experiencia. La ciencia es un producto puro de la razón; afirmada a priori e inmediatamente cierta. Y *sistemática*, porque las conexiones entre los conocimientos en su sistema es una coherencia de fundamentos y consecuencias.

Opone a ella la no-ciencia: una doctrina que también es sistemática, pero cuyos fundamentos o principios son meramente empíricos, i.e. no son apodícticamente ciertos, no hay conciencia de su necesidad. También se le puede llamar *Arte*.

La Matemática Pura, es la ciencia que trae consigo una certeza completamente apodíctica, a priori y sintética. No es fundada ni puede fundarse en la experiencia. Todos sus conocimientos deben presentar sus conceptos de antemano en una intuición pura, por lo que sus juicios son intuitivos. Para que esta ciencia sea posible debe haber en su fondo una intuición, con la que pueda construir (presentar *in concreto* y *a priori*) todos sus conceptos. Podemos esclarecer la posibilidad de la Matemática y de las proposiciones sintéticas a priori en ella, a través del descubrimiento de esta intuición.

Una intuición puede preceder a la realidad del objeto como conocimiento a priori, sólo si no contiene otra cosa que la forma de la sensibilidad que precede en mi sujeto a toda impresión real por medio de la cual soy afectado por el objeto. Solamente es esta forma la que me permite contemplar cosas a priori, por lo que sólo podemos reconocer a los objetos tal como a nuestros sentidos pueden aparecer, y no como puedan ser en sí mismos.

Tiempo y espacio son las intuiciones que establece la Matemática pura como base de todos sus conocimientos y juicios, que son apodícticos y necesarios. Esto es porque presenta primero sus objetos en la intuición, i.e. los construye. Sin ella no puede dar un solo paso, porque esta construcción se realiza sintéticamente. Lo mismo le sucede a la matemática pura con la intuición pura, ya que es en esta intuición en la que sólo puede estar la materia de los juicios sintéticos a priori.

La Geometría toma como base la intuición pura del espacio. La Aritmética hace efectivo su concepto de número por la adición sucesiva de la unidad en el tiempo. La Mecánica pura puede hacer efectivo su concepto de movimiento sólo por medio de la representación del tiempo. Ambas representaciones son meramente intuiciones. Si se prescinde de lo empírico, de todo lo que pertenece a la sensibilidad, es decir, si se prescinde de la intuición empírica de los cuerpos y de sus cambios (movimiento), todavía nos quedan espacio y tiempo. Entonces, de esto se podría deducir, que son intuiciones puras que existen a priori en el fondo de la sensibilidad y que deben preceder a toda intuición empírica, i.e. a la observación de objetos reales. Gracias a estas intuiciones puras llamadas espacio y tiempo es que podemos reconocer los objetos a priori, pero sólo como se nos aparecen, no como son en sí mismos.

En resumen, tiempo y espacio son los componentes de la forma pura de la sensibilidad. Ella es la intuición pura que buscábamos, subyacente a la intuición empírica, y es la que hace posible a la Matemática pura, precediendo a la aparición real de los objetos. Esta facultad de intuir a priori no concierne a la materia del fenómeno, sino sólo al espacio y al tiempo, condiciones formales de nuestra sensibilidad o sensación de lo empírico. El espacio es la forma de la intuición externa y el tiempo la forma de la intuición interna. Los objetos, son tomados meramente como apariencias, por lo que nos representamos sólo la forma del fenómeno, i.e. su intuición pura (a priori) por parte de nosotros mismos. La Matemática pura (en especial la Geometría pura), puede solamente tener realidad objetiva si trata sólo de los objetos de los sentidos. La representación sensible lo es de las apariencias o fenómenos de las cosas, no de cómo son en sí mismas.

El espacio físico o la extensión de la materia misma, no es una creación de las cosas en sí, sino sólo es la forma de la intuición externa, de nuestra representación sensible que encontramos en nosotros a priori. En otras palabras, de todas las apariencias externas; además, sólo en él pueden ser dados los objetos de los sentidos. Por lo tanto, las proposiciones de la Geometría valen de un modo necesario para el espacio y para todo lo que se encuentra en él. Esto significa que la

sensibilidad, cuya forma es el fundamento de la Geometría, es aquello sobre lo que se cimienta la posibilidad de los fenómenos exteriores. Por esto, dichos fenómenos no pueden contener otra cosa que lo que la Geometría les prescribe. El espacio (la mera forma general de la intuición), es el *substratum* de todas las intuiciones particulares de los objetos contingentes. Les proporciona la condición de su posibilidad.

Por otro lado, el entendimiento no toma las leyes a priori de la Naturaleza, sino que las prescribe a ésta. La unidad del objeto está determinada según las condiciones de la propia naturaleza del entendimiento. Así, *éste es el origen del orden general de la naturaleza*, en tanto que concibe todos los fenómenos bajo sus propias leyes. La naturaleza de las cosas en sí mismas es tan independiente de las condiciones de nuestra sensibilidad como de las de nuestro entendimiento. No tenemos nada que ver con ella, sólo con la naturaleza como un objeto de experiencia posible.

La Experiencia en General es un producto de los sentidos y el entendimiento. A la base está la percepción aportada por los sentidos; sumado a ésta viene el juicio, aportado por el entendimiento. Este juicio puede ser de percepción o de experiencia. Si es un juicio de percepción no es suficiente para la experiencia comparar observaciones y enlazarlas en una conciencia por medio de juicios. Para constituir experiencia y ser válidos objetivamente, deberían generar una validez general y ser necesarios, y de este tipo de juicios, esto no surge.

En el juicio de experiencia, la intuición dada debe ser subsumida bajo un concepto puro del entendimiento a priori, que determine la forma del juicio en general con respecto a dicha intuición, y enlace la conciencia empírica en una conciencia general y, así, proporcione validez general al juicio empírico.

La Ciencia Natural, es una ciencia que trata de la Naturaleza, i.e. de la suma total de todas las cosas en tanto que pueden ser objetos de nuestros sentidos u objetos de experiencia. Trata del llamado “mundo sensible”, es decir, el total de todas las apariencias, excluidas las cosas que no son sensibles. Es una doctrina racional de la naturaleza cuyas leyes naturales que la fundamentan son sólo conocidas a priori (no son meras leyes de la experiencia). Es el conocimiento racional de la coherencia de las cosas. Una doctrina de la naturaleza será ciencia natural si contiene una parte pura, i.e. un conjunto de principios a priori de los que se derivan las restantes explicaciones naturales. Por esto es que toda doctrina de la naturaleza debe apuntar a la ciencia natural y culminar en ella. A su vez, la Ciencia Natural *Pura*, es la Ciencia Natural tal que todas sus leyes y conocimientos son sólo a priori (independientes de la experiencia).

La Física General, es una ciencia natural que trata de la Naturaleza y que debe preceder a toda física, ya que esta última está fundada sobre principios empíricos. En la primera, se encuentra la Matemática aplicada a los fenómenos y también puras proposiciones discursivas (de conceptos) las que constituyen la parte filosófica del conocimiento natural puro. Ella puede convertirse en ciencia natural sólo por medio de la aplicación de las matemáticas a sus objetos de estudio. Pero, además, tiene algunos componentes que no son independientes de la experiencia. Por ejemplo, los conceptos de movimiento, impenetrabilidad, inercia, etc. Éstos hacen que no se le pueda llamar “pura”. Es la ciencia natural que predominaba en la época de Kant, y que se refería sólo a los objetos de los sentidos externos. Sin embargo, Kant la toma como la Ciencia Natural Pura que estaba buscando.

En esta Física General, nos referimos a los objetos de la experiencia posible, y éstos son los que tratamos de conocer; en otras palabras, tenemos que ver con el conocimiento natural, cuya

realidad puede ser confirmada por la experiencia, aunque pueda ser posible a priori y precediendo toda experiencia. Veremos cuáles son las condiciones generales dadas a priori de la posibilidad de la experiencia. De estas condiciones es que se derivan todas las leyes naturales generales.

Al principio, todos nuestros juicios son de percepción y valen puramente para nuestro sujeto. Después le damos una nueva relación con un objeto y le hacemos valer para nosotros en todo tiempo. Y lo mismo sucede para todos los juicios sobre el mismo objeto: es lo que les da su validez general. Esto no ocurre en la percepción solamente, sino en su subsumisión a las categorías del entendimiento.

Sobre lo dado empíricamente (los juicios empíricos) y, en especial, lo dado en la intuición sensible, deben existir conceptos especiales originados completamente a priori en el entendimiento. Bajo éstos, se subsumen las observaciones (subjetivas), y por ellos, éstas se transforman en experiencia.

El concepto de validez objetiva es equivalente al de validez general necesaria (para todos los humanos). Si bien no conocemos el objeto en sí, considerar un juicio sobre él como válido en general y necesario, entendemos que es válido **objetivamente**.

Los juicios objetivos son aquellos de los que tenemos causas para considerarlos necesarios y generalmente válidos. No expresan solamente la relación de la percepción con un sujeto, sino una propiedad del objeto. Todos los juicios (de varios sujetos a parte de mí) sobre un objeto, sólo pueden coincidir en la unidad del objeto al cual se refieren todos.

El objeto permanece siempre desconocido en sí mismo. Pero, si a través del concepto puro (categoría) del entendimiento, es determinado el enlace de las representaciones del objeto (que dicho concepto da a la sensibilidad) como válido en general, el objeto está determinado por esta relación y el juicio es objetivo.

Ej.: “el aire se dilata” es un juicio de percepción. Si quiero que se pueda llamar juicio de experiencia, debo exigir que el enlace entre los dos estados de sensibilidad de mis sentidos que lo forman, se haga bajo una condición que lo convierta en generalmente válido. En otras palabras, que yo mismo, en todo tiempo, y también todos los demás sujetos, hayan de enlazar necesariamente la misma observación bajo las mismas circunstancias.

### **La función de la Metafísica en la Ciencia**

Todos los físicos (filósofos naturales) que proceden matemáticamente en su trabajo tienen que usar siempre principios metafísicos. A veces, ellos mismos lo ignoran, y hasta llegan a repudiar cualquier acusación de metafísica en su ciencia. Indudablemente, este repudio se basa en lo que ellos entienden por metafísica; la ven como la ilusión de inventar posibilidades a su antojo y de jugar con conceptos que quizás no admitan representación en la intuición; y no tienen otra certificación de su realidad objetiva que el hecho de que simplemente no entran en contradicción con ellos mismos.

La verdadera metafísica, es tomada de la naturaleza esencial de la facultad de pensar y, entonces, no tiene nada de inventada. Esto es consecuencia de que la metafísica no es producto de la experiencia y contiene las operaciones puras del pensamiento: conceptos y principios a priori. Éstos, transforman la pluralidad de las representaciones empíricas en conexiones legitimadas. Por medio de esta transformación, esta pluralidad se transforma en conocimiento empírico (i.e. experiencia).

Estos fisico-matemáticos no pueden deshacerse de los principios metafísicos, sobre todo los que se usan para crear el concepto de materia, disponible a priori para ser aplicado a la experiencia externa, como en los casos del concepto de movimiento, de la inercia, del llenado del espacio, etc.

### 2.3) KANT Y EL IDEALISMO

Nuestros sentidos son el medio por el que se producen todas las intuiciones de las cosas exteriores. De este modo, éstas nos son dadas a conocer como fenómenos (puras representaciones de nuestra sensibilidad) y no como son en sí mismas. El idealismo afirma que todos los cuerpos que están en el espacio son meras representaciones en nuestro pensamiento, y no existen fuera de éste. En otras palabras, sólo habría seres pensantes.

Kant opina que “nos son dadas cosas, como objetos de nuestra sensibilidad, existentes fuera de nosotros; pero lo que puedan ser en sí, nada sabemos, sino que conocemos sólo sus fenómenos, esto es, las representaciones que producen en nosotros, en tanto que afectan nuestros sentidos. ... **fuera de nosotros hay cuerpos**, esto es, cosas, las cuales conocemos por medio de las representaciones que nos proporciona su influjo sobre nuestra sensibilidad, aunque, con respecto a lo que puedan ser en sí, nos son completamente desconocidas, y a las cuales damos la denominación de cuerpo,... que significa meramente la apariencia de objetos para nosotros desconocidos, pero no menos verdaderos. ¿Se puede llamar a esto idealismo? Es precisamente lo contrario.” Las cualidades primarias, al igual que las secundarias no pertenecen a las cosas en sí mismas, sólo a sus fenómenos en nuestra sensibilidad. Aunque a nuestro entendimiento le es dado el fenómeno, somos libres, de todos modos, de juzgar de él lo que queramos; porque el fenómeno se funda en los sentidos, pero el juicio se funda en el entendimiento.

Como ejemplo de lo que quiere decir, en una especie de respuesta al problema del sueño cartesiano, Kant afirma que “la diferencia entre verdad y ensueño no se decide por la cualidad de las representaciones que se refieren a los objetos, pues ellas son en ambos iguales, sino por el enlace de las mismas según las reglas, que determinan la conexión de las representaciones en el concepto de un objeto y por el grado hasta el cual pueden o no coexistir en una experiencia.” Lo que nos representan los sentidos no puede ser ni verdadero ni falso. Son sólo fenómenos, aun sin juzgar. El que juzga objetivamente sobre el fenómeno es el entendimiento.

Si consideramos al espacio y al tiempo como formas puras de las representaciones de los sentidos, i.e. de la sensibilidad, y que existen sólo en ella y no en los objetos externos. Y si, además, usamos estas representaciones sólo con relación a la experiencia posible, no podemos equivocarnos al tenerlas por fenómenos, ya que se pueden conectar en la experiencia a través de las reglas de verdad. Según esto, todas las proposiciones de la Geometría valen para el espacio y para todos los objetos de los sentidos, es decir, para toda experiencia posible. En este caso, puedo entender cómo es posible conocer a priori aquellas proposiciones de todos los objetos de la intuición externa.

Kant mismo había nombrado a su posición como “Idealismo Trascendental”, que cambió luego por “Idealismo Crítico”. Éste no se refiere a la existencia de la cosa, de la cual no dudó nunca, sino sólo de la representación sensible de la cosa, i.e. de los fenómenos. De éstos, del espacio y del tiempo, dijo que no son cosas, ni determinaciones de las cosas en sí mismas, sino modos de representación. Para él trascendental significa la relación de nuestro conocimiento con nuestra facultad del conocimiento, y no con la cosa en sí.

### **3) LA FÍSICA MODERNA**

#### **3.1) EL TIEMPO EN LA FÍSICA MODERNA**

Veamos ahora un breve repaso histórico del concepto de tiempo de la Ciencia Moderna. Galileo Galilei introduce las nociones básicas que nos sacaron del paradigma del conocimiento científico que hasta su época había predominado en la humanidad: la Escolástica. Una de las características de la experimentación que introdujo fue la de utilizar el tiempo, además del espacio, como criterio para esquematizar las mediciones de los hechos de la naturaleza observados. Lo transforma en una de las magnitudes fundamentales de la Ciencia.

Poco más tarde, Isaac Newton, continuador de la obra de Galileo, no define los conceptos de tiempo y espacio; asume que son “palabras bien conocida por todos”. Sean lo que sean, sin embargo, lleva al pináculo del objetivismo a sus nociones, considerándolas como propiedades de las cosas, que están por encima de éstas, en el sentido de que son realidades absolutas, autónomas, independientes, infinitas, verdaderas y “matemáticas”. Gracias a esta concepción, pudo encontrar sistemas de ecuaciones que explicaran todos los movimientos de los planetas según una teoría mecanicista, fundada además en conceptos como el de masa y el de movimiento a los que dio un tratamiento similar al espacio y al tiempo, es decir, los cuantificó y los consideró como propiedades objetivas absolutas.

Reconoce dos tiempos: el Tiempo Absoluto o duración que es el verdadero y matemático, y el Tiempo Relativo, aparente y común, que es la medida sensible y externa de la duración mediante el movimiento y que se utiliza comúnmente en lugar del primero. En ambos casos afirma que son líneas direccionadas. Uno fluye uniformemente, independientemente del movimiento y sin relación con algo exterior, mientras que el segundo depende del primero. Concibe así, para registrar las percepciones, un marco de referencia absoluto que le llama Espacio-Tiempo. Su existencia no es material, pero es como una especie de sustancia.

Siguiendo la línea racionalista fundada por Descartes, Gottfried Leibniz, define al tiempo como el ordenamiento de los cambios sucesivos, el ordenamiento general de los eventos no simultáneos. El tiempo no es ni materia ni sustancia, no existe fuera de los cuerpos, es una entidad ideal (como los números) y relacional. A pesar de su visión objetivista, se podría afirmar que en él encontramos un primer antecedente de teoría subjetivista del tiempo, adelantándose, de alguna manera, a Kant y su fenomenismo.

A finales del siglo XIX y entrando en el XX (en plena crisis de la Ciencia Clásica), Ernst Mach se dedica a criticar la concepción mecanicista del tiempo, acusando a Newton de estar influido por la filosofía Medieval. Afirma que la idea de un tiempo absoluto, independiente de todo cambio, es una concepción metafísica ociosa, sin ningún valor ni práctico ni científico, de la que nadie tendría razones para decir que sabe nada sobre ella.

Para afirmar esto se basa en la comparación de todas las cosas contra el péndulo y su movimiento, las que parecen inesenciales. Esta ilusión, dice, nos lleva a creer que el tiempo es algo particular e independiente, de cuyo progreso depende el movimiento pendular, mientras que las demás cosas

tienen que ver con él secundariamente.

Para Mach, el tiempo es una abstracción a la cual llegamos a través de los cambios en las cosas, de la conexión que existe entre los datos que tenemos en la memoria y los que tenemos en nuestra percepción sensorial. La frase “el tiempo fluye en una dirección” quiere significar que los eventos físicos se desarrollan únicamente en un sentido determinado.

Tomando las ideas de Mach que criticaban las de la Mecánica Clásica, Albert Einstein trata de construir para la nueva física una definición del tiempo que se aproximara más a las observaciones de sus experimentos. La Física Relativista, cuyo creador principal fue Einstein, cambió el concepto de tiempo para su utilización en la nueva Física que estaba naciendo. Metafísicamente, siguió siendo el orden de la sucesión de movimientos, pero negó la existencia de un orden temporal único y absoluto.

Dentro de su Relatividad Especial, y siguiendo su clásico ejemplo del rayo que cayó sobre el terraplén del ferrocarril donde viajamos, Einstein define lo que utilizará como “tiempo” para desarrollar su nueva teoría. Tiempo de un suceso es la lectura (la posición de las manecillas) de un reloj que se encuentra (espacialmente) cerca del suceso. A cada suceso se le aplica de esta manera un valor que es observable.

Afirmar que la simultaneidad es relativa a un cuerpo de referencia que se utiliza como sistema de coordenadas, es afirmar que el tiempo es relativo a dicho cuerpo, es decir, todo sistema de coordenadas tiene su tiempo (número del movimiento según el antes y el después, tal como dijo Aristóteles) particular. A partir de esta definición continuará con el desarrollo del resto de su teoría, pero sin cambiar metafísicamente el concepto básico de lo que la ciencia hasta ese momento consideraba como tiempo.

Los eventos y objetos ocurren y existen dentro de un espacio tetradimensional (o cuatridimensional) llamado espacio-tiempo. En él, un objeto pasa a ser la historia de sus posiciones a lo largo de su existencia. Las distancias temporales y espaciales, por separado, son magnitudes relativas. Sin embargo, las posiciones espacio-temporales sí son *absolutas*. Lo que vemos cuando un objeto cambia de coordenadas espaciales son sus proyecciones en el plano del tiempo.

Para la Relatividad General, el espacio-tiempo transmite el movimiento a los objetos cosmológicos del universo, por causa de su curvatura, lo que genera el efecto gravitacional. Así, se geometriza la gravedad: se convierte en una propiedad geométrica del espacio-tiempo. En definitiva, el espacio-tiempo deja de ser algo inerte: actúa sobre los objetos contenidos en él. Este sí es un cambio metafísico importante.

Analizando los trabajos de Einstein, Hans Reichenbach propuso la vuelta a una afirmación kantiana que reducía al tiempo del orden de la sucesión al orden de la causalidad. La relatividad de la simultaneidad, según el marco de referencia, hace que sólo se pueda afirmar la anterioridad de un suceso sobre otro sabiendo cual causa a cual. Si ninguno de los dos causa al otro entonces no podemos decidir cual es anterior a cual.

Ya en la segunda mitad del siglo XX, en un artículo llamado “La teoría relacional y objetiva del tiempo físico” publicado en la revista “Philosophy of Science” en diciembre 1968, Mario Bunge, intenta dar una definición y llevar a una formalización matemática rigurosa a la concepción del tiempo de las ciencias contemporáneas.

Con la intención diferenciar su posición de las de otros pensadores, definió su teoría como relacional y objetiva; mientras que calificó la de Kant como absoluta y subjetiva, a la definida por Newton como absoluta y objetiva, y a la de Berkeley como relativa y subjetiva. Para justificar esta calificación, dio ciertas pautas. Destacó, dentro de éstas, la advertencia de que no debe confundirse *relacional* con *relativo*. Relacional significa sujeto a cambio dependiendo del evento inicial y del evento final, mientras que relativo significa dependiente de un marco físico de referencia en el que tienen lugar los eventos. Su teoría está basada en la teoría del Tiempo Universal de Noll que era una teoría cuantitativa y relacional, adecuada para los problemas de la física no relativista, pero inadecuada para los de la relativista.

Para definir la concepción del tiempo utiliza, sin analizarlos, los conceptos de evento, marco de referencia y escala cronométrica. Sin embargo, da una idea de lo que se va a entender por un evento (un cambio en un sistema físico), por marco de referencia (un sistema físico con direcciones espaciales o una materialización de un conjunto de ejes coordenados) y por escala (una representación convencional que indica el valor objetivo de una propiedad). Aclara, por otro lado, que a pesar de que el concepto de tiempo no es un concepto matemático, es matematizable.

La matematización o sistematización (insertar en el tiempo un sistema hipotético deductivo) comienza, entonces, con la definición de los axiomas y algunos teoremas, que serán la base de su teoría. Con ellos como herramienta, intenta elucidar algunos problemas y aclarar puntos oscuros en las otras teorías del tiempo y en la práctica de la física.

Por ejemplos de puntos oscuros, tenemos:

- Confundir la dirección del tiempo con la irreversibilidad, es identificar el tiempo con los procesos en lugar de con el orden y transcurso de los eventos.
- La construcción hecha sobre la base de los axiomas definidos es una formulación explícita y literal de la idea de que el tiempo es una medida relativa del devenir, y que no es ni autónomo ni fluye por sí mismo.
- Define el tiempo como lo especificado por la construcción matemática que hizo.
- Define duración, lapso, momento o período como cualquier valor de la función del tiempo y que son lo que los relojes miden.
- Define lo que es anterior, posterior o simultáneo, y diferenció el orden temporal de los eventos del orden causal, a través de la definición de “inversión” temporal.
- Define instante como la clase de equivalencia de los eventos simultáneos, y el conjunto de estos eventos simultáneos como el estado del universo en ese instante con respecto a un marco de referencia dado.
- Una vez que no hay mundo físico, esta teoría carece de sentido. Si no hay eventos, no hay tiempo.
- Tampoco tiene sentido preguntar por la edad del Universo y, según Bunge, por el mismo



razonamiento se puede llegar a la conclusión de que el Universo es “eterno”.

Una vez que tiene definido formalmente al tiempo, intenta desentrañar los misterios que este concepto tiene tradicionalmente, aportando su visión personal sobre el tema. El tiempo es necesario sólo para la descripción y la explicación del cambio o movimiento (como dirían los antiguos), no existe sin los objetos. No tiene existencia independiente, por lo que carece de ser. No es que el tiempo sea subjetivo sino que no es independiente de las cosas, que no existe por sí mismo.

No es lo que fluye, sino lo que tienen en común las cosas que fluyen, que devienen. Según Russell, citado por Bunge, es una característica superficial de la realidad que tiene una importancia más bien práctica y que se relaciona más con nuestros deseos que con la verdad. El tiempo en sí mismo, separado de los eventos es irreal tanto “como la masa en sí misma, separada de los cuerpos”. Al existir los eventos, el tiempo es tan real como cualquier otra característica del mundo, pero no es independiente de ellos.

Considerando otro aspecto discutido, a saber, la equivalencia del espacio y el tiempo, Bunge niega la igualdad de las coordenadas temporales y espaciales. Dice que la física no ha espacializado el tiempo, sino que ha representado espacialmente a las coordenadas temporales y que las usa, no siempre, de manera similar a las espaciales, soldándolas en un espacio tetradimensional constituido por eventos, y nada más.

Hablando de los órdenes temporales: una secuencia de tiempo cualquiera refleja una secuencia de eventos. Pero sólo representa el orden en que ocurrieron. Lo real es la secuencia de eventos. Pero ese orden es relativo a un marco de referencia dado, según la Relatividad; es decir: una misma secuencia de eventos puede representarse por tantas secuencias temporales como marcos de referencia se use para observarla. A pesar de esto, la dirección del tiempo no es subjetiva, y sólo tiene de convencional la elección de números positivos para cuantificar pares de eventos que van a suceder y la elección de las unidades en que se va medir la duración. Sin embargo, la asimetría del tiempo no es convencional; es un hecho, ya que los eventos mismos están ordenados.

Esto da paso al tema de la orientación del devenir. La mayoría de las teorías físicas sobre el tiempo se afilian al orden causal como orden del tiempo. Sin embargo, hay cosas que suceden antes que otras que no tienen nada que ver unas con otras y menos causarlas. Sólo se cumple que algo que causa otra cosa ocurre antes. De ello, Bunge deduce que el orden temporal y el causal no son equivalentes y que la orientación del devenir no determina la dirección del tiempo.

¿Cómo se resuelve entonces el problema de la “flecha del tiempo”? Generalmente, se cree que la orientación del devenir sí determina la dirección del tiempo y que la dirección del “flujo” temporal se define por su irreversibilidad. Bunge hace un análisis de esta doctrina y cuatro de sus variantes: la Teoría Termodinámica del tiempo (basada en la ley de entropía de la Termodinámica), la Teoría Estadística, la Teoría de Copenhague, y la Teoría Cosmológica.

La primera dice que la dirección positiva del tiempo se da por el crecimiento de la entropía en un sistema termodinámico aislado. La segunda mejora la primera tomando en cuenta la naturaleza

estadística de la Segunda Ley de la Termodinámica. La tercera: toda medicina es un proceso irreversible que aumenta la entropía total del sistema considerado, entonces, la dirección del tiempo sería el resultado de la actividad de los observadores. La cuarta: la dirección del tiempo debe buscarse en la expansión del Universo.

Bunge afirma que ninguna de las cuatro son teorías sino un conjunto de observaciones, y que tiempo y entropía son lógicamente independientes en la termodinámica actual. Finalmente, recomienda rechazar la teoría entrópica del tiempo por razones lógicas y metodológicas.

La definición que Bunge da en el trabajo citado es una representante fiel del concepto del tiempo que tiene la ciencia contemporánea, y ha llevado a su máxima exactitud y fineza a la matematización del concepto, necesaria para todo trabajo científico actual y, además, aclara muchos puntos oscuros sobre la temporalidad existentes dentro del ámbito científico. A modo de ejemplo, en el libro de Omnès, cuando se define la dinámica (los cambios en el tiempo) de un sistema cuántico, se define al tiempo como: "...un parámetro real continuo. Difiere de todas las otras cantidades físicas, que están asociadas con operadores." Es un parámetro más utilizado en la teoría, una cantidad matemática más en el marco de trabajo matemático.

### 3.2) LA MECÁNICA CUÁNTICA

Como un ejemplo para introducirnos a este tema, consideremos brevemente la historia reciente del concepto de luz. Al final del siglo XIX y al comienzo del XX, se dividió la comunidad científica en dos grupos, según sus descripciones sobre las características principales de la luz. Un grupo de ellos mostró experimentalmente que la luz se comporta como una "partícula" y el otro mostró que lo hace como una "onda". En otras palabras, se formaron dos bandos dentro de la misma disciplina científica, cada uno de ellos con sendas interpretaciones diferentes entre sí, que se transformaron en opuestas. Los representantes de uno y otro bando discutieron largo tiempo entre ellos. Pero, al principio, no se pusieron de acuerdo: "*debería ser una partícula o debería ser una onda*".

A medida que pasó el tiempo la comunidad científica concluyó que la luz *ni* es una partícula *ni* es una onda, sino ambas cosas a la vez (dentro de los límites de la teoría). Esto es lo que la Mecánica Cuántica parece decir, tanto para la luz como para la materia. El hecho es que estamos tratando de comprender algo que pertenece al microcosmos, que aún es desconocido para nosotros, y modelarlo a través de lo que sí conocemos en el macrocosmos, i.e. *partículas* u *ondas*. Es más, no sabemos si es algo diferente de las partículas o las ondas o no, que se comporte análogamente a ellas, en los tipos de experimentos que podemos hacer hoy por hoy. Tal vez no realizamos ciertos experimentos aún desconocidos que puedan resolver el rompecabezas.

En resumen, es ampliamente aceptado en el ámbito científico que los experimentos que fueron (y aún son) realizados están de acuerdo con la teoría matemática (i.e. la Mecánica Cuántica) que describe la luz y la materia como cosas que se comportan en algunos casos como ondas y en otros como partículas. La mayoría de los científicos no se preocupan de lo que realmente son: en el pasado estaban muy ocupados discutiendo entre ellos o, como en el presente algunos les dicen a sus alumnos y colegas: "¡calla y calcula!"

Pero aún hay más: cuando investigamos más profundamente en el corazón de la materia, nos vamos dando cuenta que está compuesta de *vacío*. Mirando otra vez la historia de la Ciencia

Moderna, al principio, los científicos decían que la materia era densa, y que la última frontera del microcosmos era el *átomo* (que significa “indivisible”), partículas elementales sólidas. Más tarde, tomaron conciencia que el átomo estaba hecho de componentes mucho más pequeños, relacionados de maneras determinadas; pero había más vacío en ellos que materia densa. Como diría Capra en su ejemplo, en un átomo del tamaño del domo de la Catedral de San Pedro en Roma, el núcleo del átomo sería del tamaño de un grano de sal. Y los electrones, motitas de polvo dando vueltas en el vasto espacio del domo. Veamos un poco más en profundidad estas afirmaciones.

## La teoría

La Mecánica Cuántica es un lenguaje matemático, usado por la Física Cuántica para explicar el comportamiento del microcosmos y la electrodinámica. A los últimos componentes de la materia y a la luz, los llama “partículas” pero los describe como si fueran algo más, partícula/ondas, algo que se comporta como una partícula en algunos casos o como una onda en otros, como ya fue mencionado. De acuerdo a esta teoría, tienen ciertos estados, que son abstracciones que podemos “observar” de sus comportamientos.

Del libro citado de Capra [2], en el texto comprendido entre las páginas 56 y 71, se puede obtener una descripción más filosófica, sin tantos detalles técnicos y fórmulas, de lo que es la materia para la física contemporánea. A nivel subatómico, la materia no existe con certeza en lugares definidos. En su lugar, muestra *tendencias a existir*, y los eventos atómicos no ocurren con certeza en tiempos y modos definidos, sino que muestran *tendencias a ocurrir*. En el formalismo de la Mecánica Cuántica, estas tendencias son expresadas como probabilidades y son asociadas con cantidades matemáticas que toman la forma de ondas. Por eso las partículas pueden ser ondas al mismo tiempo. No son ondas tridimensionales “reales”, como las ondas de sonido o las del agua. Son *ondas de probabilidades*, cantidades matemáticas abstractas con todas las propiedades características de las ondas, y están relacionadas con las probabilidades de encontrar las partículas en puntos definidos en el espacio, y en tiempos determinados. Todas las leyes de la física atómica son expresadas en términos de estas probabilidades. No se puede predecir nunca un evento atómico con certeza; sólo podemos decir como puede ser que suceda.

De esta manera la Mecánica Cuántica demolió los conceptos clásicos de objetos sólidos y de las leyes de la naturaleza estrictamente determinista. A nivel subatómico, los sólidos objetos materiales de la física clásica se disuelven en patrones de probabilidades con forma de onda. Estos patrones, en realidad, no representan probabilidades de las cosas, si no probabilidades de interconexión. Las partículas subatómicas no tienen sentido como entidades aisladas, sólo pueden ser entendidas como interconexiones entre la preparación de un experimento y la medida subsiguiente. No podemos descomponer el mundo en pequeñas unidades que existen independientemente. A medida que penetramos en la materia, no nos muestra ningún “ladrillo básico”, sólo aparece como una complicada red de relaciones entre las diferentes partes del todo, incluyendo al observador como una parte esencial, como el eslabón final de la cadena de los procesos de observación. Las propiedades de cualquier objeto atómico pueden ser entendidas sólo en términos de la interacción del objeto con el observador. La idea clásica de la descripción objetiva de la naturaleza ya no es válida.

Tendencias a existir, partículas que reaccionan al confinamiento con movimiento, átomos cambiando súbitamente de un estado cuántico a otro, y una interconexión esencial de todos los fenómenos, estas son algunas de las características inusuales del mundo atómico. La fuerza básica es la atracción eléctrica entre el núcleo del átomo cargado positivamente, y los electrones cargados negativamente. La interacción entre los electrones y los núcleos de los átomos es la base de todos los sólidos, líquidos y gases, y de todos los organismos vivos y los procesos biológicos asociados a ellos.

Hasta 1930, se consideraba que la materia estaba compuesta por átomos, y éstos por protones, neutrones y electrones. Estas *partículas elementales*, eran vistas como las unidades indestructibles últimas de la materia: los átomos de Demócrito. A pesar de las implicaciones de la Mecánica Cuántica, los hábitos clásicos eran (y los siguen siendo) tan fuertes que la mayoría de los científicos intentaban entender la materia en términos de sus “ladrillos básicos”. A partir de 1930 se descubrieron nuevas partículas cuando los físicos refinaron las técnicas y desarrollaron nuevos dispositivos para su detección. Además, en la parte teórica, se incorporó la teoría de la Relatividad a la Mecánica Cuántica, con el objetivo de completarla. Lo que se necesitaba para una comprensión completa del mundo nuclear era una teoría que incorporara tanto la Mecánica Cuántica como la Teoría de la Relatividad.

Estos dos hechos mostraron que la noción de partículas elementales como elementos primarios de la materia debía ser abandonada. Esas nuevas partículas ni siquiera podrían llamarse “elementales”. En la Física Clásica, la masa de un objeto estaba asociada a una sustancia material indestructible, de la que todas las cosas debían estar compuestas. La Relatividad muestra que la masa no tiene nada que ver con ninguna sustancia, es una forma de energía, que no es estática, sino una cantidad dinámica asociada con actividad o procesos. Una partícula debe considerarse como un patrón dinámico, un proceso que involucra la energía que *se nos manifiesta* como la masa de la partícula.

Pero aún hay más: Dirac concibió una teoría donde pares de partículas y antipartículas pueden ser creadas si la suficiente energía está disponible, y puede convertirse en energía pura en el proceso inverso de aniquilación. Esto ha sido observado millones de veces desde entonces. Antes de esta teoría, la materia era vista como constituida por unidades elementales indestructibles e incambiables, o como objetos compuestos que podían dividirse en sus partes componentes. La pregunta básica era si uno puede dividir la materia una y otra vez, o si uno puede llegar a alguna unidad indivisible más pequeña.

Ahora, cuando dos partículas chocan con altas energías, generalmente se rompen en pedazos, pero estas piezas no son más pequeñas que las partículas originales. Son partículas del mismo tipo creadas de la energía cinética involucrada en el proceso de colisión. Las partículas subatómicas son destructibles e indestructibles *al mismo tiempo*. Esta paradoja aparente, surge de nuestra visión estática de los objetos compuestos de ladrillos básicos. Ella desaparece cuando la nueva visión es adoptada. Las partículas son vistas como patrones dinámicos o procesos, que involucran cierta cantidad de energía y que se nos aparecen como su masa. En un proceso de colisión, la energía de las dos partículas se redistribuye para formar un nuevo patrón. Todas las partículas pueden ser trasmutadas en otras partículas. Pueden ser creadas por energía y pueden desvanecerse

en energía.

Los conceptos clásicos como “partícula elemental”, “sustancia material” u “objeto aislado”, perdieron su significado: el mundo entero aparece como una red dinámica de patrones de energía inseparables. Una partícula puede ser entendida sólo en términos de su interacción con el ambiente que la rodea, por lo que no puede ser vista como una entidad aislada: debe ser pensada como una parte del todo integrada. Las partículas son patrones dinámicos que originan fuerza y materia, cuyos conceptos son así unificados por la teoría; mientras que en la antigua teoría eran totalmente independientes.

Yendo del nivel macroscópico al nivel atómico, las fuerzas que mantienen los objetos unidos son relativamente débiles, y era una propuesta plausible afirmar que los objetos son compuestos. A nivel de las partículas, no se puede sostener tal afirmación. Los protones y los neutrones también son objetos compuestos, pero las fuerzas que los mantienen unidos son tan fuertes, que se diluye la distinción entre las partículas constituyentes y las que forman las fuerzas que unen la materia. El mundo de las partículas no puede ser descompuesto en componentes elementales. De esta manera, el universo es experimentado como un todo dinámico e inseparable que incluye al observador en un modo esencial.

## La interpretación

En su libro, llamado *The Interpretation of Quantum Mechanics* [16], Roland Omnès define lo que entiende por *interpretación*: “...consiste en interpretar los aspectos realistas y prácticos de la física ... directamente en términos de los conceptos básicos de la teoría.” La interpretación descrita en él es distinta a la presentada por la *Interpretación de Copenhague*, que es la que dejaba planteadas dos tipos distintos de leyes físicas: unas para el microcosmos y otra para el macrocosmos. La nueva interpretación intenta superar a la vieja dejando un solo tipo de leyes físicas para ambos ambientes: las leyes cuánticas.

Estas leyes cuánticas conforman la teoría que, como dijimos, es matemática, y se relaciona en una interpretación con “objetos físicos, su comportamiento y su uso empírico”. Este relacionamiento, se basa en presuposiciones metafísicas de la comunidad científica, aunque ésta no lo considere así. Se dice algo similar a “esta cosa de la naturaleza se corresponde en la teoría con esto y esto”, etc., y uno debe aceptarlo sin más, salvo que “concuera con los datos empíricos”. Ya lo vimos en el caso del tiempo, pero hay más ejemplos: “la teoría sobre un sistema físico individual aislado está enteramente formulada en términos de un espacio de Hilbert específico y en un álgebra específico de operadores...”, “los vectores  $\psi$  en el espacio de Hilbert evolucionan en el tiempo de acuerdo a las ecuaciones de Schrödinger...”. “En la Mecánica Cuántica, un observable está definido como asociado en una relación uno-a-uno a un operador auto-adjunto en el espacio de Hilbert.” “Una propiedad afirma que el valor de un observable dado  $A$  pertenece a un conjunto de números reales  $D$  y esto es, entonces, algo muy similar al resultado de una medida”. Y puede haber más. En algunos pasajes del libro se admite frases como: “Las propiedades son... consideradas sólo como *suposiciones formales* durante la construcción de la interpretación.” Por un lado son suposiciones formales, pero por otro se trata a los objetos de la teoría como que “la naturaleza **ES** así”. Mi intención aquí es aclarar las cosas, bajarlas a tierra; para ilustrar esta intención me gusta la

expresión de Asher Peres citada por Nielsen y Chuang: “... los fenómenos cuánticos no ocurren en un espacio de Hilbert, ocurren en un laboratorio.”

Cuando las probabilidades de que los estados estén en un cierto valor o no, son introducidas en otro lugar del texto, dice así: “Las probabilidades no entran en la teoría como algo que uno puede medir por una serie de experimentos, sino como lo que los matemáticos llaman medida, i.e. números a priori que uno puede asociar con propiedades hipotéticas. Esto significa que las probabilidades aparecen, primero que nada, como un ingrediente esencial del lenguaje de la física, mucho antes de que puedan ser asociadas con cualquier tipo de medida.”

Veamos ahora un ejemplo concreto de lo que se considera hoy en día que es la materia y la luz. Tomemos un electrón como una de esas partícula/ondas. Analizando los postulados de la Mecánica Cuántica, nos encontramos que en el primero de ellos se habla que la teoría se define sobre “un sistema físico *aislado* en un espacio de Hilbert”. Más adelante en el texto, veremos que, según Mansfield, considerar un sistema físico como totalmente aislado es un error crítico. Además, “todo lo que se debe decir sobre este sistema físico debe ocurrir en este marco de trabajo matemático”. Otro postulado nos dice (en resumen) que cada sistema físico es un conjunto de partículas (o partícula/ondas).

De acuerdo a esta teoría, el estado estándar de un electrón es la superposición de todos los observables en los que podemos clasificarlo. Si tratáramos de medir el estado de un electrón en cierto momento, siempre colapsaría en uno de los valores puros predeterminados pertenecientes a los dominios de los observables; así se perdería el valor del estado que queríamos medir. Este colapso tiene lugar porque todos los aparatos utilizados para detectar partículas se basan en procesos irreversibles.

Además, no todos los observables pueden ser medidos, sólo unos pocos de ellos; y, de todos éstos, no podemos determinar todos sus valores al mismo tiempo, según afirma el Principio de Incertidumbre de Heisenberg. Esto significa que la mayoría de las propiedades que uno puede pensar, aún en un sistema relativamente pequeño, no pueden ser nunca confirmadas o refutadas por ningún tipo de medida. Según Omnès, ellas pertenecen al dominio de la “física conversacional”, no a la “física real”. Sólo podemos hacer predicciones estadísticas sobre el comportamiento de los sistemas cuánticos, i.e. probabilidades de los valores que los observables pueden alcanzar. “Las probabilidades están íntimamente relacionadas con el estado del sistema, que se define como un dato del cual uno puede derivar una probabilidad definida para cada propiedad concebible.”

Por otro lado, usando la arquitectura mental y perceptiva que conforma nuestro sistema nervioso, del macrocosmos sólo percibimos objetos *independientes*, que interactúan entre ellos de acuerdo a ciertas leyes naturales que llamamos “Leyes de la Física Clásica”, dentro del mundo del que son partes constituyentes. De cualquier sistema físico, podemos afirmar que se encuentra en un cierto estado definido por una serie de magnitudes físicas propias del fenómeno, evolucionando en el tiempo; un sistema clásico no puede estar en más de un estado, pero cuando hablamos de los componentes subatómicos de la materia, sus estados no son otra cosa que superposiciones de los posibles estados de cada partícula/onda que podemos asignarles (y otros estados de los que no

somos conscientes), sus estados se nos presentan como indeterminados. Es más, las distintas partícula/ondas están muy enredadas (*entangled* en inglés) entre ellas, profundamente relacionadas una con las otras y con el observador: *no son* independientes.

Sin embargo, “el comportamiento clásico de la mayoría de los objetos macroscópicos pueden ahora ser considerados como consecuencia directa de la Mecánica Cuántica”. ¿Hay aquí una de esas famosas antinomias? Veamos un poco más de lo que se plantea Omnès: “Uno debe distinguir entre un sistema macroscópico (consistente en muchas partículas) y uno clásico (obedeciendo a la física clásica, aún aproximadamente). Uno debe, además, distinguir entre un sistema físico (completamente definido por sus partículas constituyentes y sus interacciones) y un objeto (correspondiente a relativamente pocos estados de sus partículas constituyentes). Un sistema hecho de varios objetos es análogo a un sistema clásico, que ignora la estructura atómica de la materia. Finalmente, uno debe distinguir además entre fenómenos y hechos. Los fenómenos son propiedades clásicas significativas de un sistema de objetos y son teóricas y potenciales (i.e. hipotéticas: pueden ser consideradas como parte de una presuposición). Por el contrario, los hechos son reales y se distinguen de los fenómenos por su realidad y su unicidad. El primer paso en la construcción de la física clásica se concentra en las propiedades de un objeto macroscópico que pueden ser consideradas tanto como propiedades clásicas o cuánticas. En otras palabras, apunta a expresar la lógica clásica del sentido común como un caso especial de lógica cuántica.”

Antes de analizar estas afirmaciones, aclaremos un poco que entiende Omnès por *fenómeno*. “El producto de la investigación del comportamiento de los objetos macroscópicos es una teoría de los fenómenos; i.e. de las propiedades clásicas de estos objetos... La existencia de los fenómenos se sigue directamente de los axiomas básicos de la teoría.” No quiere decir que la existencia de los hechos reales se derive de la teoría, porque sería identificar a la realidad con una construcción matemática. Significa que la teoría, cuando uno deduce sistemáticamente algunas de sus consecuencias, predice las características principales de los fenómenos que él llama “reales” (aunque no lo explicita, asumo que se refiere a los *nóúmenos* kantianos). Uno puede decir que la física clásica puede ser aplicada en la mayoría de los casos excepto por la ocurrencia de posibles errores originados por largas y ocasionales fluctuaciones cuánticas, tan ocasionales que no tienen consecuencias prácticas.

Más allá de usar una acepción distinta de la palabra fenómeno que la que utilizó Kant en su momento, es claro que denuncia una diferencia entre lo que es la teoría de lo que queremos conocer y los hechos “reales”. Para Omnès, el sentido común al que hace referencia “consiste en usar la lógica ordinaria (como está implícita en el lenguaje ordinario) y aplicarla a la realidad con la ayuda de algún conocimiento de física clásica o aunque sea alguna intuición de ella. Más frecuentemente, descansa en la representación diaria de la realidad física originada en nuestra familiaridad con los hechos empíricos ordinarios.” Afirma que la validación de este sentido común puede ser hecha a partir de los postulados de la Mecánica Cuántica. Parece que el sentido común está originado en algo más profundo que sólo esta teoría puede develar.

Veamos cómo según Omnès, la Mecánica Cuántica describe un objeto: “un sistema macroscópico en un estado representando un objeto específico se describe mejor usando *observables colectivos*. Éstos son esencialmente los observables asociados con las variables dinámicas que son usadas en

la mecánica clásica. Hay otros muchos observables microscópicos describiendo la materia del objeto. Un conjunto de coordenadas colectivas y microscópicas constituyen un conjunto completo de observables que conmutan para el objeto completo. A menudo, es conveniente considerarlos como representando formalmente dos sistemas dinámicos diferentes: el subsistema colectivo y el *entorno*, que se parametriza por las coordenadas microscópicas y representa la materia dentro y fuera del objeto. Estos dos sistemas dinámicos son unidos y esta unión es responsable de sus intercambios de energía, i.e. efectos de disipación. Se debe hacer hincapié en que uno no conoce un método general para construir las variables colectivas a partir de los primeros principios y uno sólo puede hacer conjeturas sobre los criterios para definir sin ambigüedad qué es un observable colectivo y hasta donde lo es. Este problema no resuelto se mantiene como uno de los resquicios más importantes en la construcción de una interpretación completamente satisfactoria.”

La drástica oposición entre el determinismo de la física clásica y el probabilismo de la Mecánica Cuántica parece ser otra de esas antinomias o, quizás, falsas oposiciones (en palabras vazferreirianas). Según Omnès, ambas son perfectamente compatibles entre sí: no es un cambio de física sino de actitud del físico.

En el propio libro, admite que existe un problema no resuelto en la física con esta teoría. La Mecánica Cuántica sólo puede representarse toda la multiplicidad de datos que *pueden* ocurrir en un experimento sobre la misma base. Pero la realidad nos muestra un único dato real: un hecho concreto. Y se pregunta: “¿de dónde viene esa unicidad y aún la existencia de esos hechos?” Presenta tres respuestas a esta pregunta, una de ellas es la que él considera la correcta. Aunque a mí me suenan a complementos *ad hoc*. Las dos que descarta son: la de las Variables Ocultas, en la que se afirma que la teoría está aún incompleta; y a la interpretación de los Muchos Mundos, en que la realidad tiene muchas ramas o alternativas, que se abren a medida que van ocurriendo eventos debidos a medidas cuánticas, cada uno dando surgimiento a mundos diferentes.

Según Omnès, Everett afirmó que el estado inicial del universo se toma como dado y el resto se deriva de él siguiendo la ecuación de Schrödinger. La solución que sostiene Omnès en el libro, también hace hincapié en la unicidad de la realidad: en este momento el universo muestra una multitud de hechos, cada uno ellos único. Muchos de ellos, llevan sobre sí el recuerdo de otros hechos pasados. Excepto por los hechos pasados de los que no se conserva su recuerdo, es posible reconstruir lógicamente el pasado desde el presente. Este pasado es único, en contraste con el futuro que permanece abierto, excepto por las probabilidades que uno le puede asignar a sus variadas posibilidades.

La oposición entre pasado y futuro está de acuerdo con la termodinámica. Afirma lo siguiente: “La diferencia entre pasado y futuro es algo tan obvio que uno siempre lo da más o menos por sentado. Lo mismo es cierto para la unicidad de la realidad con sus hechos definidos únicamente. Lo que la teoría dice no es que puede predecirla, está aún lejos de eso porque la unicidad de la realidad es un problema para ella. ... éstas dos características están conectadas, el carácter del tiempo siguiendo casi ineludiblemente de la unicidad de los hechos, o por lo menos, la Mecánica Cuántica no puede separarlos uno de la otra sin caer en la inconsistencia.” En resumen: “La realidad física es única. Evoluciona en el tiempo de tal manera que, cuando los hechos reales derivan de antecedentes idénticos, ellos ocurren al azar y sus probabilidades son las dadas por la



teoría.”

## **4) RELACIONES ARGUMENTALES**

### **4.1) LA OBJETIVIDAD Y EL REALISMO**

En el último capítulo del libro [16] de Roland Omnès, se analiza distintos aspectos filosóficos de la interpretación de la Mecánica Cuántica sostenida por él. Quiere convencer al lector (y quizás convencerse a sí mismo) que esta interpretación es objetiva y que la teoría puede ser defendida desde un punto de vista realista fuerte o “total”, como le llama él. En este proceso se introduce en un terreno que, él mismo lo admite, no es el suyo. Al tratar de solucionarlo va creando otros problemas igual de graves que el original, o aun más. Sin embargo, según mi opinión, los temas planteados son importantes y vale la pena analizarlos, aunque no estén muy bien resueltos.

#### **Objetividad**

Primero analiza el tema de la Objetividad, a través de una de las propiedades más importantes de esta representación: la reducción. Para él, ésta es una genialidad, creada para escapar de la contradicción producida por la admisión de la existencia simultánea de dos tipos diferentes de leyes físicas, las clásicas y las cuánticas. En vista de la imposibilidad de avanzar formalmente en el análisis de la reducción, uno trata de pensarla como un proceso físico real, algo que ocurre cuando interactúan un sistema medido y otro que mide. A pesar de que nunca hubo evidencia de un efecto tal, la idea subyacente de un proceso físico real, era esencial para hacer popular una concepción en la que la reducción tenía un carácter concreto, en la que ocurre de pronto en cierto tiempo y de tal manera que puede ser sentida simultáneamente en todos lados. Soluciona el problema entre clásicos y cuánticos, sin embargo, crea dificultades con la relatividad.

Omnès mismo aclara que, primero von Neumann, y luego London y Bauer, afirmaron que la reducción no tenía nada que ver con un proceso físico real. Tiene lugar en la representación del mundo existente en la conciencia de un observador. Es necesario que la función de onda (por ejemplo) en sí misma, sea un elemento de esa conciencia en lugar de ser una parte de la realidad; es la representación de la realidad que un observador puede concebir en vista de la información que tiene a su disposición. Rápidamente, Omnès aclara que, por ejemplo, la noción de función de onda, o de operador densidad, son necesarias para la completa construcción de la Mecánica Cuántica. Ésta, es la base de toda la física y la química, que a su vez fundan todas las demás ciencias empíricas. Pero, si algo es objetivo cuando existe fuera de la mente e independientemente de ella, en este caso, no habría lugar para la objetividad, y todo lo que queda sería, a lo mejor, un acuerdo intersubjetivo entre personas educadas. Esto puede desembocar en una regresión solipsista.

De esto concluye que, en la posición de von Neumann y sus seguidores, todas las ciencias estarían reducidas a lo que pasa en la conciencia de uno o más observadores. Para Omnès, la teoría se refiere a algo que NO tiene que ver con la mente. La ciencia, por cuestión de principios, se refiere sólo a los hechos, a todos ellos por igual, y no sólo a los casos conocidos. Las consecuencias derivadas de estos hechos están completamente libres de cualquier arbitrariedad originada en la mente. Ya que, según él, el carácter de la ciencia está en juego, Omnès se la juega: afirma que su

interpretación de la Mecánica Cuántica *es objetiva*. Porque, cuando esta interpretación afirma una propiedad o llega a una conclusión, utiliza hechos bien establecidos. Para eso se basa en las veintiuna tesis expuestas en su texto, que no analizaremos en su totalidad aquí.

## **Realismo**

Veamos ahora el problema del Realismo. Consideremos que, como seres humanos, tenemos la creencia innata e irreflexiva en la existencia inherente de cada fenómeno; independiente de nuestra mente o del conocimiento humano, y de los otros fenómenos del mundo. Tendemos a creer y afirmar que detrás de nuestras asociaciones psicológicas, nombres, convenciones lingüísticas, etc., que le adjudicamos a los objetos, ellos existen como algo sustancial, independiente de otros objetos y fenómenos, dando una base objetiva a este mundo que todos compartimos. Así, cada uno de estos objetos es una unidad en sí mismo, sin ninguna relación entre sus sustancias o esencias. Uno de los problemas con esta creencia, es que nos hace tener la convicción de que una correcta y profunda investigación puede llevarnos a conocer la verdadera esencia de los objetos físicos (en las ciencias), o la verdadera esencia del ser (en la metafísica).

La ciencia occidental parte de la base de que existen objetos externos a nuestra conciencia (realismo ontológico). Además, tienen una esencia o sustancia, y son independientes entre sí y del observador, i.e. de las facultades cognitivas de la mente humana y de lo que queramos observar o medir. Otra premisa se que considera verdadera es que podemos conocerlos con verdad (realismo gnoseológico o epistemológico) a través de las ciencias, principalmente la Física. Estas dos son presuposiciones metafísicas que conforman el Realismo Físico. Se dan como autoevidentes, pero no tienen porqué serlo: su validez es cuestionable. Es parte de lo que Kant decía cuando afirmaba que todos los físicos que proceden matemáticamente en su trabajo tienen que usar siempre principios metafísicos, aunque repudiasen este uso. Según él, este tipo realismo “físico” no sería posible, porque no podemos acceder al conocimiento de los *nóúmenos*, sólo de los fenómenos.

Frente a esto Omnès plantea las siguientes preguntas: ¿Qué significa conocer? ¿Cuál es el principio que hace posible el conocimiento? Según él, D’Espagnat no lo tenía claro. Para éste, el realismo físico puede tener dos versiones, de acuerdo a si usa las matemáticas o no. El “realismo fuerte” afirma que la realidad puede ser conocida en sí misma, y el “realismo débil” que sólo parcialmente.

No se puede tener un conocimiento completamente confiable de la realidad por las limitaciones por principio que posee la Mecánica Cuántica. Ellas fueron, por primera vez, introducidas por el experimento mental EPR. De él se concluyó que las propiedades de un sistema pueden ser cambiadas sin que lo sepamos, a través de una acción realizada sobre otro sistema muy lejano. En estas condiciones, la realidad no sería conocida con ningún tipo de certeza. Para D’Espagnat, esto no quiere decir que la realidad no exista o que no es posible que la conozcamos completamente. Significa sólo que su conocimiento está condenado a quedar incompleto; la realidad queda “velada”, cubierta por un velo: este es el “Realismo Velado”. Uno puede decir que hay una restricción en lo que se puede conocer de la realidad, es un exceso afirmar que la realidad puede ser conocida completamente.

Citando a Pierre Duhem, Omnès afirma que el realismo tiene dos aspectos: primero, asume la

existencia de una realidad independiente, y segundo, que ella puede ser conocida utilizando la investigación científica. La primera es compartida por todos los físicos mientras que la segunda hay que tomarla con más precaución. Ésta es la que es investigada por Duhem y su conclusión es: salvar las apariencias. La ciencia no se refiere a la realidad, sólo salva las apariencias, tal es la relación entre la teoría científica y los hechos reales.

Coincidiendo con él, Mach afirmaba que la ciencia proporciona una representación de la realidad, que no es un conocimiento íntimo de ella, pero es algo que puede soportar los embates de la experimentación mientras salva las apariencias. Obviamente, Omnès no está de acuerdo. Pero reconoce que el realismo es una posición extremista y que la ciencia es una representación de la realidad, una descripción, una imagen, un dibujo, un modelo.

Si uno acepta esta visión, la cuestión del realismo se transforma en algo mucho menor y otra pregunta interesante aparece, que es: ¿cómo entender mejor las características y el significado de esta representación? Omnès ofrece algunas pistas para responder esta pregunta:

- 1) los hechos siguen siendo los ladrillos del conocimiento empírico, pero ahora se restringen al mundo macroscópico. Cuando llegamos al problema de la realidad de los hechos, encontramos un problema grave: no se puede considerar simplemente a la realidad como idéntica con un completo estado de hechos, como lo asumía la física clásica. Se debe distinguir entre los hechos, las propiedades microscópicas que pueden ser consideradas verdaderas, y también de la enorme cantidad de propiedades microscópicas de las que no podemos decir ni que son verdaderas ni que son falsas.
- 2) La razón es algo bien distinto del sentido común.
- 3) El sentido común está parado ahora sobre sus propias bases, mostrando más claramente el esqueleto lógico de la ciencia.
- 4) El significado de verdad ha cambiado. No es tan sencillo como solía serlo.

Algo debe cambiar en epistemología si los *status* de los hechos y del sentido común han cambiado. La nueva interpretación de la Mecánica Cuántica, puede tener alguna consecuencia epistemológica interesante.

La ciencia es fuente esencial de conocimiento y entendimiento de la Cultura Occidental (por lo menos). ¿Qué significa este conocimiento y que entendemos por entender? ¿Cómo es que se puede entender la realidad? Según Omnès, necesitamos una teoría del conocimiento que ofrezca otro punto de vista sobre la noción de los hechos, sobre el uso del sentido común, y también sobre la verdad. La teoría del conocimiento es el ambiente ofrecido por la filosofía para la construcción de la ciencia, pero también es la base de la filosofía. El juego en el que estamos es el del cuestionamiento tanto de la base de la ciencia como de la filosofía, ni más ni menos.

Para este autor, las cuestiones fundamentales tienden siempre a estar escondidas detrás del velo de nuestra ignorancia concerniente a la naturaleza del lenguaje, la lógica y el razonamiento. Esta ignorancia erige una pantalla detrás de la cual la ciencia parece incapaz de hacer explícita su propia relación con la realidad.

Las preguntas que deben resolverse son las siguientes:

- 1) ¿Qué es la ciencia y cuál es su relación con su objeto, la realidad?
- 2) ¿Qué son la lógica y la matemática en relación a la ciencia?
- 3) ¿Cómo es posible la extensión y universalidad presentes de la ciencia?
- 4) ¿Cómo es posible el lenguaje (sea el que fuere)?

Omnès las responde de la siguiente manera:

- 1) La ciencia es una representación de la realidad. Evuelve en concordancia con la historia, está hecha por hombres en su propio entorno cultural y social, pero también lidia con la realidad. Es expresada por varios tipos de proposiciones, entre ellos algunos son principios, otros son leyes que pueden ser derivados de ellos, o que no estén completamente relacionados con ellos, y otros son los recuerdos de muchos hechos más o menos bien comprendidos. Esta representación no está completamente contenida en una única mente y se mantiene distribuida entre muchas mentes, muchos libros, muchos artículos o ejemplos, como la representación de la superficie de la Tierra está distribuida entre los muchos mapas de un atlas. Existen otras representaciones de la realidad (religiosas, filosóficas y artísticas). Lo que distingue a la ciencia es su método, que involucra la interacción entre tres polos: experimentación, imaginación y el mecanismo de razonamiento lógico-matemático.
- 2) En la física contemporánea las matemáticas frecuentemente sustituyen al lenguaje ordinario. A medida que la necesidad de la matemática se hace patente, vemos que no es más un accesorio sino una llave a la teoría del conocimiento. Hay dos posiciones: el realismo y el nominalismo. El *realismo* dice que existe algo independiente de la mente humana que es explorado y descubierto por el matemático más que inventado; siempre distinguiendo “realidad matemática” de realidad física. El *nominalismo* considera a la matemática como un cierto juego donde las reglas son esencialmente arbitrarias, como las reglas del ajedrez. Se dice que este sistema es hipotético-deductivo, porque consiste en hipótesis de las se deducen consecuencias.
- 3) Veamos la relación entre este sistema hipotético-deductivo, la realidad física y la extensión y universalidad de la ciencia. A partir de un sistema arbitrario no se puede justificar la extensión y universalidad de la ciencia, por lo que Omnès se decide por el realismo matemático. A su vez, define una entidad caracterizada por ser diferente y más abstracta que la realidad física, a la que llama **Logos**; éste es representado por la lógica y la matemática, así como la realidad física es representada por la ciencia. Es objetivo: existente por sí mismo e independiente de la mente humana.
- 4) El lenguaje tiene un valor intrínseco porque con él se representa a la realidad, entonces no es meramente arbitrario.

Obviamente, estas respuestas tienen aspectos que son cuestionables. El más notorio de todos es la creación *exnihilo* de esa entidad llamada Logos. En primer lugar, con esto rompe el monismo del realismo físico, el materialismo. En el mismo acto, crea un dualismo con dos tipos de entidades: la realidad material y el logos, de sustancia distinta y más sutil, pero desconocida (al menos para mí).

Esto quizás le resuelva un problema pero, para mi gusto, le crea uno más grave: justificar la existencia y las propiedades que le atribuye al logos.

A la posición que Omnès asume, le llama “Realismo Total”. Su suposición primaria es la adscripción de un status de realidad a un Logos que se define como objetivo. Éste es explorado por la lógica y la matemática humanas. En base a esto, tratará de explicar cómo es posible la ciencia, considerando su extensión y universalidad, preguntándose por qué la realidad es entendible. La respuesta espontánea que darían muchos científicos es: la ciencia es posible y logra un gran éxito porque hay un orden en el universo. Un nominalista no estaría de acuerdo: si uso el Logos (lógico-matemática) para justificar esta afirmación y éste es una construcción arbitraria, el orden del que hablo no tiene ningún sentido propio.

Si lo miramos desde el punto de vista del realismo total, i.e. de la existencia objetiva de una realidad y del logos, sí tiene sentido. La ciencia es nuestra representación de la realidad física y, a su vez, la lógico-matemática es la del logos. La conexión íntima entre la ciencia y las matemáticas sólo puede ser la imagen de una correspondencia superior entre la Realidad y el Logos. La ciencia no puede existir sin matemáticas ni lógica. Esto es lo que se quiere decir cuando decimos que la realidad es ordenada: Realidad y Logos están en correspondencia. Esta correspondencia es el Principio Fundacional de la ciencia. Según admite el propio Omnès, es un principio metafísico: una meta reflexión sobre la física.

Con esto parece resolver el problema de la Teoría del Conocimiento: el conocimiento es esencialmente la representación de la correspondencia entre el Logos y la Realidad. La verdad es el criterio para el conocimiento. Los criterios de ésta son: a) lo que vemos con atención es real (la existencia de la realidad), b) lo que siempre ocurre es verdad (la manifestación omnipresente del orden).

Sin embargo, Omnès admite ciertos problemas en la correspondencia entre el Logos y la Realidad:

- 1) sus naturalezas son intrínsecamente diferentes.
- 2) la teoría no cubre los hechos reales.
- 3) algunas propiedades concebibles no tienen correspondencia definida con la Realidad (e.g. el valor de un observable que no se puede medir).
- 4) algunos aspectos de la realidad no son cubiertos por la teoría, y algunos aspectos del Logos no tienen contrapartida con la Realidad.

Es una correspondencia que no es una identidad. No tenemos certeza de estar correctos en todos los casos, pero podemos calcular la probabilidad de estar equivocados.

Pero aún hay otros problemas que no plantea. A saber: todo esto se viene abajo si se cuestiona (como ya lo hice antes) esa entidad metafísica llamada Logos. Pero los criterios de verdad son aún peores: ¿qué es ver *con atención*? “Lo que siempre ocurre” me suena a inductivismo ¿lo es? Y si lo es, ¿que hay de Hume, de Kant y la crítica a la causalidad? ¿Qué pasa con Popper, Kuhn, etc.?

Toda la justificación de este Realismo Total se basa en el argumento de que la Mecánica Cuántica es extremadamente exitosa. Va tan lejos como para expresar reglas generales para la

correspondencia básica, i.e. las leyes de la física, que aún no han fallado en ninguna circunstancia; y va aún más lejos como para estimar las probabilidades de equivocación en la expresión de los hechos y de las consecuencias de los hechos. La teoría es básicamente probabilística con un significado preciso: su construcción total y su lenguaje intrínseco descansan sobre medidas matemáticas que tienen las propiedades formales de la probabilidad. Y como es exitosa todo lo que se diga sobre ella parece estar justificado.

#### **4.2) IDEAS BUDISTAS Y KANTIANAS**

Como ya vimos, dentro de la Física Moderna existen ciertas interpretaciones de la Mecánica Cuántica, de las cuales analicé en este texto a la que hace referencia Roland Omnès. Si bien trata de dar una interpretación que mejora en ciertos aspectos a la de Copenhague, el libro deja también en claro que hay ciertas interrogantes que no puede contestar. Algunas son clasificadas en técnicas, es decir inherentes a la teoría; y afirma que, si las sometiéramos a una investigación sistemática, quizás podríamos contestarlas. Dentro de éstas menciona: le falta una distinción entre los observables macroscópicos (colectivos) y los microscópicos (se debe definir más precisamente la noción de objeto dentro de la teoría), la teoría de la decoherencia debe ser refinada para capturar mejor la naturaleza de los problemas físicos en sí mismos, la afirmación de que la decoherencia es inevitable no está completamente probada, y que aún no se ha investigado la extensión de esta interpretación a las situaciones relativistas.

Por otro lado, está la interrogante sobre la unicidad de la realidad y la existencia de los hechos. En este punto se admite que se ha alcanzado un límite de la física; la teoría y la realidad se separan donde la experimentación es inaccesible. Aquí se compara la realidad en sí misma con la semántica de la teoría matemática, lo que nos lleva a una cuestión más profunda que es: ¿por qué una construcción matemática puede ajustarse a la realidad?; yo preguntaría más aún ¿por qué una construcción matemática *debe* ajustarse a la realidad?

Como es obvio, este sistema de conocimiento fue concebido dentro de una matriz de creencias culturales y filosóficas occidentales (e.g. el dualismo Cartesiano, la Física newtoniana, etc.). De esta matriz, sólo tomó algunas creencias, que tal vez no sean siempre beneficiosas para los objetivos científicos. De todas las ideas budistas y kantianas que he repasado en las páginas anteriores, me gustaría hacer hincapié en algunas de ellas y ver como podrían influir positivamente en la Física Moderna y ayudar a su desarrollo. Para ello, se podría sustituir las premisas relacionadas con ellas que están a la base del sistema de creencias de la ciencia contemporánea, y así contestar algunas de las preguntas planteadas por Omnès y ver qué se podría concluir razonando a partir de ellas en distintos aspectos de esta forma tan exitosa de conocer el mundo que es la ciencia. En primer lugar voy a enumerar las ideas. En segundo lugar, veré qué premisas se podrían derivar de ellas, y luego pasaré a aplicarlas en distintos ejemplos cubriendo algunos de estos aspectos.

En Buda:

- 1) La impermanencia.
- 2) La vacuidad.
- 3) La doctrina de las dos verdades.

En Kant:

- 1) El tiempo y el espacio como formas puras de la intuición sensible.
- 2) El espacio y el tiempo como intuiciones a la base de los axiomas de la matemática.
- 3) Las matemáticas como parte fundacional de las ciencias puras.

En ambos:

- 1) La realidad no es conocida en sí misma, sino en su apariencia.
- 2) La matemática como una construcción humana.
- 3) La mente humana puede conducir a antinomias por efecto de la dialéctica.

La *impermanencia* afirma que nada permanece igual en dos momentos subsecuentes; y la *vacuidad*, que todos los fenómenos objetivos o subjetivos, en realidad, carecen totalmente de existencia inherente. Es lo que debemos tener claro sobre la naturaleza del universo. No es un nihilismo extremo, existe algo ahí afuera que aún no podemos definir (¿podremos definirlo algún día?). Pero *no* hay *objetos* con *esencias*.

Para Kant, existe una realidad, i.e. los objetos del mundo exterior a nuestra conciencia existen. Es un mundo nouménico del que sólo conocemos sus apariencias. Pero de como es en sí, nada podemos *afirmar*. No dice que no podemos conocerlo. Lo que parece decir es que no lo podemos conocer apodóticamente: necesaria y universalmente. Si se le preguntara si tienen esencia o no, creo que él contestaría: “eso es una antinomia”. Siguiendo sus ideas, **no** se podría afirmar, como en el budismo, que los objetos carecen de esencia; ni que sí la tienen y podemos conocerla con verdad, como diría la ciencia occidental. La experiencia que podemos tener del mundo está limitada por nuestra capacidad de sentir (percibir) y emitir juicios (razonar); i.e. por la conjunción funcional de nuestra sensibilidad y nuestro entendimiento.

La sensibilidad nos permite experimentar sólo los fenómenos a través del espacio y el tiempo. Esto significa que lo que experimentamos es una relación intrínseca entre el sujeto y la parte del nómeno que podemos captar. Por ejemplo, cuando cuantificamos esas propiedades o cantidades físicas finitas representables numéricamente (los *observables*), en realidad estamos proyectando algo que pertenece a nuestra mente hacia el “mundo real”, con la intención de comprenderlo. El sujeto aporta su sensibilidad que se proyecta sobre el objeto en sí como una forma, como un molde, que me permite experimentar al fenómeno, y nada más que al fenómeno. Y tampoco nada menos.

El entendimiento no toma las leyes a priori de la Naturaleza, sino que las prescribe a ésta. La unidad del objeto está determinada según las condiciones de la propia naturaleza del entendimiento. Así, éste es el origen del orden general de la naturaleza, en tanto que concibe todos los fenómenos bajo sus propias leyes. La naturaleza de las cosas en sí mismas es tan independiente de las condiciones de nuestra sensibilidad como de las de nuestro entendimiento. No tenemos nada que ver con ella, sólo con la naturaleza como un objeto de experiencia posible.

Esto entra en contradicción con la posición de Omnès. Esa entidad lógico-matemática a la que le llama Logos, no es independiente de la mente humana. Es el conjunto de las leyes que gobiernan a la mente humana. Es un problema con raíces más profundas que las que Omnès piensa que tiene.

#### 4.3) LA MATEMÁTICA Y LAS CIENCIAS DE LA NATURALEZA

Para Kant, según lo visto más arriba en el texto, tiempo y espacio son los componentes de la forma pura de la sensibilidad. Ellos subyacen a la intuición empírica, que es la que hace posible a la Matemática pura. Los axiomas de la Geometría se crean a partir de la intuición pura del espacio, mientras que la Aritmética hace efectivo su concepto de número por la adición sucesiva de la unidad en el tiempo. Por otro lado, la Mecánica pura puede hacer efectivo su concepto de movimiento sólo por medio de la representación del tiempo. En otras palabras, espacio y tiempo establecen a la Matemática pura como base de todos nuestros conocimientos y juicios apodícticos y necesarios acerca de los objetos.

Las proposiciones de la Geometría valen de un modo necesario para el espacio y para todo lo que se encuentra en él. En otras palabras, la sensibilidad, cuya forma es el fundamento de la Geometría, es aquello sobre lo que se cimienta la posibilidad de los fenómenos exteriores. Por esto, dichos fenómenos no pueden contener otra cosa que lo que la Geometría les prescribe. El espacio (la mera forma general de la intuición), es el substratum de todas las intuiciones particulares de los objetos contingentes. Les proporciona la condición de su posibilidad.

Leído así, a mí me sugiere que los axiomas de las matemáticas surgen como autoevidentes a partir de estas intuiciones puras de nuestra sensibilidad. Sin ellas y sin los conceptos a priori (categorías) del entendimiento, no podría existir la matemática como disciplina. Una vez que estos axiomas están establecidos, a través de nuestra facultad de razonar lógicamente, podemos encadenarlos entre sí para demostrar teoremas y, a su vez estos teoremas con otros teoremas, etc. Así, podemos construir hipotético-deductivamente todo el cuerpo de la matemática como disciplina, cuyos resultados son universales y necesarios. Es decir, para todo sujeto humano en todo tiempo y lugar.

Ahora bien, suponiendo que los objetos tuvieran una esencia y si quisiéramos conocerlas con verdad: ¿cómo podríamos hacer eso? Podríamos tener, de una parte del espectro científico, una respuesta parecida a la siguiente: mediante la *mathesis universalis*, es decir, develando el lenguaje que expresa el orden del universo, que está escrito matemáticamente. O la ya analizada respuesta de Omnès. Ya vimos que Kant nos dice que la base de la matemática son las intuiciones de espacio y tiempo que no tienen nada que ver con los objetos en sí mismos, sino con nuestra intuición sensible. De esto puede deducirse que la matemática no pertenece a la naturaleza y a sus objetos. Sí tiene que ver con los fenómenos, con las apariencias; en otras palabras, con las relaciones de dependencia entre las causas y condiciones de los fenómenos, de su totalidad y de sus partes, y de la designación mental que les aplicamos, como diría el Budismo. O kantianamente: sólo a través de estas relaciones podemos conocerlos válida y universalmente.

La matemática se transforma así, embebida en la ciencia, en un lenguaje interhumano **sobre** los fenómenos de la naturaleza; de aprendizaje y comunicación de experiencias y teorías científicas intersubjetivas. **No** es el lenguaje de la naturaleza. Quizás exista un lenguaje de la naturaleza, o quizás no: no lo podemos saber. Y si lo supiéramos, en forma individual, por intuición o por el método que sea, sería inefable, no intersubjetivable. Tampoco es una entidad independiente de la



mente y distinta de la materia, como el Logos.

La matemática es un lenguaje que da validez y universalidad a las leyes científicas que se aplican sólo a los fenómenos. En ella se expresa todo el conocimiento intersubjetivo perteneciente a la cultura occidental moderna. Esa es su grandeza y la base del éxito de la ciencia y de la tecnología. Éstas nos permiten dominar el mundo y predecir el futuro, pero siempre en la medida de nuestras posibilidades.

Esto parece diluir los problemas que se le presentaban a Omnès con la correspondencia entre el Logos y la Realidad: ya no hay dos tipos de naturaleza diferentes fuera de la mente humana. La teoría es producto de la mente humana, cubre los hechos reales en base a sus posibilidades cognitivas. Por esto es que algunas propiedades concebibles no tienen correspondencia definida con la Realidad. Y por esto también, algunos aspectos de la Realidad no son cubiertos por la teoría, y algunos aspectos del Logos no tienen contrapartida con la realidad.

Por último, el problema planteado por Omnès entre el realismo y el nominalismo, también parece una antinomia. No existe una “realidad matemática” distinta de una “realidad física”. Existe el mundo de los fenómenos y el de los númenos. El primero puede ser explorado y descubierto por el matemático y no tiene nada de inventado. Las leyes de los fenómenos y las leyes de la mente humana son necesarias y universales; las podemos comprender mejor o peor, pero están ahí, listas para ser utilizadas por todos los humanos en todo tiempo y lugar. Pero, del mundo nouménico, nada podemos afirmar que sea necesario y universal.

Por el lado de la filosofía oriental, según Capra, la geometría es considerada como una construcción de la mente humana, más que una propiedad de la naturaleza y, por lo tanto, no tiene una trascendencia fundamental. La idea de la geometría como una importante propiedad de la naturaleza viene de la Antigua Grecia, i.e. de los Pitagóricos, y de su influencia en el Platonismo, el Neo-Platonismo, la Ciencia Renacentista, y de ahí a la Ciencia Moderna. Esta visión geométrica de la Naturaleza es inconsistente con la visión general del mundo que propone la Física actual. Sin embargo, sí puede ser consistente con la concepción de la matemática en la que coinciden el kantismo y el budismo.

#### **4.4) EL TIEMPO**

La Física moderna, según la interpretación de Copenhague, se dividía en dos teorías físicas disjuntas: la Teoría de la Relatividad, referente a los objetos del universo macroscópico; y la Mecánica Cuántica, referente a los objetos del universo microscópico. El tiempo está colocado en una parte central de ambas teorías. Desde esta perspectiva, la conexión que cada objeto del macrocosmos tiene con los primeros eventos en el universo, y su expansión presente a la más grande escala, garantiza la Segunda Ley de la Termodinámica: el inevitable incremento de la entropía, el desorden, el decaimiento y la asimetría temporal que son determinados a partir de leyes del tiempo simétricas, que se cumplen en el microcosmos. En otras palabras, dentro de los límites del mundo microscópico, podemos pensar en la reversibilidad del tiempo; sin embargo, en el macroscópico, parece que existe una flecha del tiempo indicando que los hechos dados en el pasado son inalterables, mientras que los futuros nos son desconocidos, y la posibilidad de tener influencia en ellos es grande. Esto crea un campo intermedio en el que no sabemos cómo se pasa

de un mundo con un tiempo reversible a otro con tiempo irreversible. Parece ser una de esas antinomias de las que tanto Buda como Kant parecen advertirnos.

Según Mansfield, en la doctrina de la impermanencia budista, el tiempo también es un concepto crucial. Piensa que a través de éste, se puede aspirar a un diálogo fructífero entre los modos de concebir el mundo oriental y occidental, y así construir un puente entre el espíritu y la materia. Veamos de qué manera. En el ejemplo presentado por Mansfield en su trabajo, la suposición (por parte de los científicos) de un sistema termodinámico *completamente aislado* de cualquier forma de interacción con su entorno conforma un error crítico que podría haber sido evitado si el principio de la vacuidad hubiese sido mejor entendido en la comunidad científica. Sumado a esto, en el libro de Omnès, según su nueva interpretación, se concluye una interesante conexión entre la decoherencia y las bases fundacionales de la termodinámica irreversible, a partir de la observación de que “no todos los estados concebibles pueden ser preparados. En particular, no se puede preparar el estado temporal reversible del estado actual de un ensamblaje macroscópico de partículas luego de que una evolución temporal ha ocurrido.” A su vez, de esto concluye algo aún más profundo: “las direcciones del tiempo en lógica, en decoherencia y en la termodinámica debe ser el mismo”. Esto parece resolver la antinomia planteada sobre el tiempo entre la Física de lo macro y la Física de lo micro.

Desde el punto de vista Madhyamika, este resultado ilustra gráficamente cómo la vacuidad, las profundas interdependencias e interrelaciones con el universo, nos llevan a la impermanencia. El tiempo carece de existencia independiente, sólo es un conjunto de relaciones dependientes, no es una entidad en sí mismo; por lo tanto, está sujeto a la ley de la impermanencia. Es un error considerarlo como una entidad absoluta y asimétrica, independiente de los eventos del mundo y del observador; tal y como es el tiempo newtoniano.

El tiempo en Kant no es una propiedad de los fenómenos, y tampoco existe independientemente de la conciencia del sujeto. Los que sí existen independientemente de nuestra conciencia son los noumenos, y de ellos podemos experimentar sus fenómenos, i.e. sus propiedades y los eventos que hacen que esas propiedades cambien. Esa condición que llamamos “tiempo”, que está en nuestra sensibilidad, lo usamos para numerar el orden de los eventos de que somos conscientes y tratamos de intersubjetivarlo para comunicar nuestros conocimientos a otros seres humanos.

Obviamente, esto entra en contradicción con el concepto de tiempo de la Mecánica Clásica. La posición de Mach es una posición más cercana a la kantiana que a la newtoniana. Einstein, que toma esta última para aplicarla en la Teoría de la Relatividad, da un paso hacia un tiempo más intersubjetivo y dependiente que hacia uno objetivo e independiente. Sin embargo, luego, en su teoría, el espacio-tiempo se convierte en una entidad absoluta e independiente, tal como afirmaba Newton sobre el tiempo y el espacio por separado.

La matematización o formalización del concepto de tiempo es una sofisticación ineludible para la ciencia cuando necesita realizar investigaciones más precisas, consecuencia directa de la sofisticación de los instrumentos experimentales y de las necesidades de la ciencia de reflejar en un lenguaje menos ambiguo y universal las fórmulas y leyes aplicables a la naturaleza. De esta manera, despeja dudas metafísicas que podrían ser un obstáculo para investigaciones que necesitan

pararse sobre una base sólida para sacar conclusiones racionales. De igual modo es necesaria, al hacer ciencia, la creencia de que el tiempo es objetivo, es decir, hacer de cuenta que es una propiedad de los objetos en sí; así los podemos cuantificar y estudiar. De todos modos, esto se puede hacer sobre los fenómenos, igualando lo que son “objetos” en la ciencia, con lo que son “fenómenos” en la teoría kantiana.

La objetivación tanto de espacio y tiempo por separado, como la del espacio-tiempo, tienen ciertas consecuencias lógicas, es decir, de ésta se pueden deducir ciertos juicios que nos pueden llevar a antinomias y contradicciones. Las contradicciones se encuentran por ejemplo en la división dentro de la física con respecto a lo que sucede en el macro y en el microcosmos. En el caso del tiempo y del espacio, si los consideramos como propiedades de la mente humana que sólo nos permiten ubicar los fenómenos y eventos del mundo para su análisis; y si fuéramos conscientes de su vacuidad y su sujeción a la impermanencia, quizás se desarrollarían otras teorías científicas sin este tipo de contradicciones. Esto se podría lograr evitando el error original: confundir los fenómenos con objetos en sí. En otras palabras, no cometer el error de igualar a los “objetos” de la ciencia con los “nómenos” de la teoría kantiana.

#### **4.5) LA MECÁNICA CUÁNTICA**

Analizando el caso de la Mecánica Cuántica, me parece que la teoría entera apunta a la impermanencia y la vacuidad, en una manera tal que los científicos sólo pueden conocer tendencias a existir y ondas de probabilidades de los componentes últimos de la materia. Ha llevado tiempo darse cuenta que, siempre dentro de las teorías de la Física, la materia y la luz son partículas y ondas al mismo tiempo. Pero aún ignoramos si es otra cosa desconocida o no.

De lo que sí estamos seguros es que los objetos de esta teoría, las partículas subatómicas, no tienen existencia independiente y que están muy enredadas entre sí y, además, inextricablemente relacionadas con su entorno, el observador, y con el aparato y método que usamos para medirlas. Es algo muy similar a lo que afirma el Budismo. Un budista nos diría que tenemos aquí la pura impermanencia y vacuidad. Capra lo dice muy claramente: “La importancia fundamental del Principio de Incertidumbre es que expresa las limitaciones de nuestros conceptos clásicos en una forma matemática precisa. ..., el mundo subatómico aparece como una red de relaciones entre las diferentes partes de un todo unificado. Nuestras nociones clásicas, derivadas de nuestra experiencia ordinaria macroscópica, no son adecuadas para describir este mundo. Para comenzar, el concepto de una entidad física bien definida, como una partícula, es una idealización que no tiene una relevancia fundamental. Sólo puede ser definida en términos de sus conexiones con el todo, y estas conexiones son de naturaleza estadística (probabilidades en lugar de certezas). Cuando describimos las propiedades de una entidad tal en términos de conceptos clásicos (como posición, energía, momento, etc.) encontramos que hay pares de conceptos que están interrelacionados y no pueden ser definidos simultáneamente en una manera precisa. Mientras más le imponemos un concepto al “objeto” físico, más incierto se vuelve el otro concepto, y la relación precisa entre los dos está dada por el Principio de Incertidumbre.”

Como un ejemplo muy demostrativo, cuando estamos tratando de mantener un sistema atómico o molecular estable, e.g. cuando tratamos de construir una computadora cuántica, el principal problema que debemos enfrentar es la decoherencia, i.e. la degeneración del sistema debida a la interacción entre él y su entorno por un cierto período de tiempo (por cierto no muy largo), es “la

consecuencia de acoplar un sistema con un entorno que involucra un número muy grande de grados de libertad”. Una vez que ocurrió, la decoherencia no puede ser evitada, mientras el ambiente sea lo suficientemente grande. Esto proporciona una respuesta sensata al problema de las superposiciones macroscópicas. Pero, a su vez, esto expresa la dificultad que se tiene para controlar los efectos de las interferencias destructivas que existe entre las funciones de onda en el medio ambiente, que son dependientes de un número muy grande de variables. Y éste es considerado un efecto universal que aún no está completamente comprendido.

Por otro lado, como mencionamos, es una teoría basada en un lenguaje matemático. Ya hemos visto más arriba que las ideas kantianas nos llevan a que los principios matemáticos no están en las cosas en sí, sino en nuestra mente. Entonces, la Mecánica Cuántica no podría referirse a la realidad en sí, como afirmaría un físico realista. Se refiere a los fenómenos en su versión kantiana, y no a los fenómenos del punto de vista de la mecánica clásica, como el conjunto de las propiedades de los objetos en sí. Como dijimos antes, igualando los “objetos” en la ciencia, con los “fenómenos” de la teoría kantiana.

Cuando se habla del carácter probabilístico de la teoría, Omnès afirmó lo siguiente: “Hasta el punto presente [la aparición de la nueva interpretación], las probabilidades consideradas eran sólo instrumentos teóricos para construir un lenguaje significativo. Ahora, por fin, ellas adquieren un significado práctico como probabilidades empíricas, en el sentido que la Física le da a la palabra y no más en el sentido abstracto de la matemática pura.” Sin embargo, uno se pregunta qué tan práctico puede ser este sentido.

Veamos el siguiente ejemplo: tenemos una moneda, de la que queremos saber en que lado va a caer. Sabemos que la probabilidad de que caiga cara es  $\frac{1}{2}$  y que caiga cruz es  $\frac{1}{2}$ . Y sabemos que la probabilidad es un límite cuando el número de tiradas tiende a infinito. Supongamos que tiré 999.999 (novecientas noventa y nueve mil novecientas noventa y nueve) veces la moneda. Ésta cayó cara 500.000 (quinientas mil) veces y 499.999 (cuatrocientas mil novecientas noventa y nueve) veces cayó cruz. ¿Quién se juega a decir que la próxima vez que la tire (la vez un millón) va a caer en cruz, con un cien por ciento de seguridad? En palabras kantianas: ¿quién puede afirmar esto con certeza apodíctica, i.e. necesaria y universalmente? Nadie. Y lo mismo sucedería si aumentara el número de tiradas. Si mi tarea fuera adivinar con certeza lo que va a pasar con la moneda en la próxima tirada: ¿de qué me sirve la probabilidad?

En conclusión, lo que podemos percibir y estudiar de un electrón, o de la materia en general, no es lo que *en realidad es*, o lo que es *en sí*. La antinomia producida por nuestros experimentos y teorías matemáticas sobre la materia y la luz, se resuelve en un “no se qué” entre partícula y onda. No es que sea una cosa extraña o de “magia negra” como diría Einstein. Es que las propiedades que le asignamos a los elementos últimos de la materia son aquellas cosas que nuestro aparato cognoscitivo (constituido por sensibilidad y entendimiento, según Kant) nos permite asignarles. Sólo podemos referirnos a los fenómenos, y eso es lo que hacemos, al igual que lo afirma la *Doctrina de las Dos Verdades* budista.

## **UN EJEMPLO CONCRETO: LA COMPUTACIÓN CUÁNTICA**

Este ejemplo concreto que presentaré ahora dará una pauta de lo que quiero decir con lo expuesto

anteriormente. Una de las aplicaciones tecnológicas, i.e. prácticas de las ciencias, que utiliza más la magia de las apariencias es la computación, en su versión tradicional (ahora llamada *clásica*). Por detrás de lo que ve el usuario final, hay un mundo de objetos que no se imagina. Creo que a esta altura del desarrollo de la computación, ninguna persona, incluida la más estudiosa y experimente en este campo, puede saber, en detalle, absolutamente todo lo que hay. Entre teorías, software e implementaciones físicas, hay miríadas de cosas asombrosas. Obviamente, uno accede al nivel que necesita ya que la computadora es una herramienta de trabajo. No necesitamos más que lo que sabemos para realizar nuestras actividades. Si necesitáramos hacer más, aprenderíamos eso que nos lo permitiría y listo. Nadie podría aprender todo de todo: teorías, programas (software) y circuitos (hardware), ni aunque quisiera.

Igualmente, veamos un pequeño ejemplo de esto, como para hacernos una idea. Mientras escribo, estoy utilizando un procesador de texto. Éste tiene sus reglas y comandos. A uno le parece natural que al oprimir una tecla, el carácter correspondiente deba “aparecer” en la pantalla. Es sencillo, ¿no? Sin embargo, detrás de esto hay miles de instrucciones de programas, y actividades electrónicas y físicas. Entre otras miles de cosas, para que “aparezca” el carácter en la pantalla, el procesador de la máquina recibe la “interrupción” de la ejecución en curso correspondiente a la opresión de una tecla, que a su vez el programa al mando del procesador le indica al circuito controlador de vídeo que en cierto lugar de su memoria debe aparecer tal o cual patrón, y a su vez éste le “dice” al tubo de imagen del monitor lo que debe encender o no en su pantalla, y todo esto va apareciendo en ella mediante varios barridos (despliegues) de la misma tan rápidos que para el ojo humano parece algo instantáneo. El programa al mando en este caso, que se dice que está “ejecutando”, es un programa procesador de textos, y por detrás de él está el sistema operativo. Éstos, a su vez están escritos en lenguajes de programación, que son lenguajes con una sintaxis determinada, parecida a un lenguaje humano, pero más rígido (como se diría en la Teoría de Lenguajes, es independiente del contexto). Los programas son compilados (traducidos) para ser llevados a lenguaje de máquina (i.e. que los circuitos “entienden”), y esto queda almacenado, finalmente, en “ceros” y “unos”. Éstos conforman un “dígito” donde los posibles valores almacenables son “cero” o “uno” alternativamente, es decir un “dígito binario” o “bit”.

Si uno ve el “vuelco” de un programa en codificación hexadecimal o binaria, o de la memoria RAM en determinado momento, obviamente no entendería nada. Billones de ceros y unos que para nosotros no tienen ningún significado, si lo miramos sin un cierto formato o “traducción”. Pero para los circuitos sí lo tiene. Y leídos secuencialmente, tal como lo haría la máquina (teórica) de Turing, éstos van a ejecutar los programas y procesar los datos que correspondan. Es una maravilla tecnológica. Pero detrás de esto están las teorías que lo hacen posible: la Física Moderna, la Ingeniería Eléctrico/Electrónica, la Teoría de la Información, la Ciencia de la Computación, la Teoría de la Programación, la Teoría de las Bases de Datos, etc.

Esta maravilla tecnológica basada en tantas teorías está implementada en ceros y unos bien determinados o, si se quiere, determinísticos, que son el límite final de las teorías. Hay varias maneras de implementar físicamente estos ceros y unos: con circuitos semiconductores, superficies magnéticas, láseres, etc. Cada representación de un bit en las distintas tecnologías tiene un determinado valor, es un cero y si no, es un uno. No hay valores alternativos.

Y por más que a uno se lo expliquen se sigue preguntando ¿cómo es posible esto? En un sistema de sueldos, por ejemplo, ¿cómo los datos de un empleado que están distribuidos en una base de datos, que son manipulados por instrucciones mediante un conjunto de programas, nos liquida el sueldo sin errores? ¿Y eso está en ceros y unos, en medios magnéticos, en corriente eléctrica, en un flujo de electrones? No importa como esté implementado, esto funciona y lo hace muy bien. Nuestro mundo del Tercer Milenio está basado en esto. Sin esta tecnología el noventa por ciento de las actividades que realizamos a diario no podrían ser llevadas a cabo. Obviando si eso es bueno o malo, lo que nos llevaría a terrenos morales y éticos, muy lejos del propósito de este trabajo.

Volviendo al usuario final, él ve ciertos objetos (e.g. los archivos, los textos, las imágenes, etc.) y trabaja con ellos. Y piensa que son reales y que eso es lo que hay en la computadora, porque no sabe y tampoco le importa saber qué es lo que hay detrás. Pero si le importara podría llegar tan lejos como su propia mente se lo permitiese, teoría tras teoría, hasta llegar a los ceros y unos, y más allá a los circuitos, las corrientes eléctricas y los electrones. A pesar de que potencialmente podría hacerlo, para comprender lo que está sucediendo en la computadora a nivel del software, uno no puede estar mirando el flujo de electrones. Me parece imposible que alguien esté “mirando” como corren los electrones por el “bus” de la “mainboard” entre la “RAM”, el procesador y el “disco fijo” y al mismo tiempo entender que se trata de mi ficha en el sistema de sueldos (por ejemplo), que esos electrones van a formar (bit a bit) datos que un ser humano puede entender.

Pero con este éxito tecnológico y todo, entre la teoría y la práctica hay problemas. ¿Quién no los tuvo con su PC? Es obvio, que entre tantas coordinaciones entre teorías y circuitos, algo tiene que fallar de vez en cuando. Puede ser por muchas cosas: mal funcionamiento, mala programación, mala operación y, por que no, errores de ajuste entre las teorías y la implementación física, es decir entre las teorías y los llamados “objetos reales”.

## **La Computación Cuántica**

Hace unos años que empezó el intento de implementar estos ceros y unos en objetos más pequeños, moléculas, átomos, electrones, fotones, etc. Éste es el dominio de otro tipo de Física. La Computación Cuántica es hija de la Mecánica Cuántica, por un lado, y de la Teoría de la Información y la Ciencia de la Computación, por otro. Nació con el propósito de aprovechar las propiedades potenciales de la teoría cuántica en el procesamiento de la información.

En el propio libro de Nielsen y Chuang, cuando describe los *qubits*, la versión cuántica de los bits, se afirma que se utilizan como objetos matemáticos con determinadas propiedades, a pesar que ellos consideran (como la mayoría de los científicos y tecnólogos) que están basados en sistemas físicos reales. Se están refiriendo a operaciones sobre los *nóúmenos* kantianos (i.e. con la realidad misma). Siguiendo lo que decía antes en el texto para la Mecánica Cuántica, en realidad están tratando con los *fenómenos* kantianos. Como vimos, esto surge de igualar los objetos de la ciencia con los fenómenos de la teoría kantiana, y no igualándolos con los nóúmenos. ¿Qué ventaja nos da esta manera de verlo sobre la otra? Estos autores mismos se percatan que, al tratarlos como objetos matemáticos (i.e. abstractos), “les da la libertad de construir una teoría general de la computación cuántica y de la información cuántica que no depende de un sistema específico para

su realización.”

Veremos en este ejemplo que en las ciencias, en cierto modo y en ciertos casos, se “fuerza” a los fenómenos para que sus resultados coincidan con las predicciones teóricas. Este forzamiento no se realiza modificando la naturaleza. Primero que nada, las experiencias se preparan para demostrar cierto aspecto de una teoría, no son circunstancias de la naturaleza tomadas al azar. Cuando se realizan las mediciones se obtienen ciertos resultados, que se toman como “los hechos”. Éstos, son los mismos siempre, el “forzamiento” ocurre al interpretarlos de cierta manera para que coincidan con la teoría que se está evaluando, o con la implementación práctica de ella que se está buscando. Y si no ocurriera así, se buscaría otro tipo de experimento. Este forzamiento traería problemas si los objetos fueran reales, es decir, con la visión Realista de la teoría. Si este fuera el caso, estaríamos forzando la Naturaleza en sí misma, cosa imposible. Sin embargo, forzar los fenómenos, nuestras construcciones mentales sobre esa Naturaleza, no es lo mismo. La Computación Cuántica es uno de estos casos. Su finalidad es construir una aplicación tecnológica, cuya implementación en ciertos artefactos lleven a la realidad la teoría cuántica de la información.

### **Los qubits, la base de la Computación Cuántica**

La ventaja de los qubits sobre los bits clásicos es que, además del uno y el cero, tenemos otro estado posible: la combinación lineal de ambos estados, que no es nada menos que la *superposición* que ya vimos anteriormente cuando describimos la Mecánica Cuántica. Esta teoría, nos dice que no podemos examinar un qubit para determinar su estado cuántico. Cuando medimos un qubit obtenemos un “0” con cierta probabilidad, o un “1” con cierta otra, siendo la suma de ambas probabilidades igual a uno. Sin embargo, en la “Naturaleza” el qubit debería estar en una combinación lineal de ambos, la que no podemos obtener por medida alguna. Hay una falta de correspondencia directa entre el estado inobservable y las mediciones que podríamos hacer. Sin embargo, la teoría permite que los qubits sean manipulados y transformados de ciertas maneras que nos lleven a resultados de las medidas que dependan de las diferentes propiedades de sus estados.

Un qubit puede existir en un continuo de estados entre  $|0\rangle$  y  $|1\rangle$ , hasta que sea observado. Mientras que, cuando un qubit es observado, sólo da  $|0\rangle$  o  $|1\rangle$ . A pesar de esta “extrañeza”, Nielsen y Chuang insisten en que los qubits son decididamente reales, y esto está validado por ciertos experimentos concretos, como el experimento Stern-Gerlach. Afirman, además, que existen muchos y variados sistemas físicos que pueden ser utilizados para implementar los qubits. Estoy de acuerdo con esta última afirmación, pero me parece una manipulación de las palabras la primera, con la intención de conservar el Realismo de la teoría. Si reformulamos las afirmaciones anteriores, el sentido de esa intención puede variar.

Veamos:

- Si aceptamos que es verdad que existen varias formas de implementar físicamente un qubit.
- Si cada vez que experimentamos con estas implementaciones obtenemos resultados que concuerdan con la teoría.
- ¿Esto significa que los qubits existen en la naturaleza como objetos en sí, independientes de la mente humana?

Para mi gusto, las dos primeras premisas no justifican la respuesta afirmativa a la pregunta que está en la tercera línea. Es verdad que se puede implementar físicamente algo que “actúe” como un qubit, ya sea a través de las polarizaciones de fotones, de la alineación de los spins nucleares en un campo magnético uniforme, como dos estados de un electrón orbitando un átomo, etc.; pero esto no implica que todas estas cosas no sean construcciones humanas que fuerzan a los fenómenos a actuar como la teoría necesita que actúen. Veámoslo con el bit clásico. Para ver que el bit no existe como objeto independiente de la mente, analizaremos un ejemplo. Cuando se comenzó a implementar la informática se utilizaban válvulas que estaban encendidas (ON) o apagadas (OFF), y con eso se implementaba un bit. ¿Se puede decir que los bits “existen en la naturaleza”? Las válvulas se usaban para otras cosas y de pronto se pudieron utilizar para implementar dígitos binarios: son válvulas, no bits, y pueden implementar lo que a uno se le ocurra.

Una de las maneras más comunes de representar teóricamente un qubit es la *Esfera de Bloch*. En ella se ve claramente, que los estados que puede tener un qubit son infinitos, tantos como puntos pueda tener la esfera. La pregunta que se hacen Nielsen y Chuang es “¿Qué tanta información es representada por un qubit si no lo medimos?” Por nuestras mediciones, sólo podemos tener  $|0\rangle$  o  $|1\rangle$ . Para las teorías que queremos imponerle a la naturaleza nos alcanza con esto. Si el juego fuera embocar una pelota de fútbol en el arco, nos alcanza que el gol sea embocándole al estadio y no al arco.

Cualquier cosa podría servir para estos propósitos, siempre y cuando cumpla con la teoría. Pero podría haber otras teorías que usen la misma representación teórica. Si lo que quisiéramos representar fuera un dígito “trinario” (por llamarlo de alguna manera), con valores  $\{0,1,2\}$ , con el estado de la tecnología que tenemos no podríamos lograrlo. Pero podríamos manipular los sistemas físicos para poder implementarlo. Si lo lográramos, la mejora teórica que obtendríamos en cuanto la proceso de información sería enorme, porque en vez de manejarnos con potencias de 2 manejaríamos potencias de 3. Imagínense el lector ir un poco más lejos, con dígitos de cuatro valores, o de cinco, o de toda la Esfera de Bloch... Aún más, la cantidad potencial de información que no podemos utilizar crece exponencialmente con el número de qubits. Según Nielsen y Chuang, “¿... cómo uno puede cuantificar la información si no puede ser medida?” Sólo con mejorar nuestro sistema de medición para lograr colapsar en más de dos valores, parecería que podríamos lograrlo. Pero ahí cambiaría toda nuestra teoría. La computación clásica está basada en  $|0\rangle$ s y  $|1\rangle$ s, y la cuántica en  $|0\rangle$ s,  $|1\rangle$ s y su combinación lineal.

## **El Teorema de No-clonación**

A principios de la década de 1980, tomó interés la cuestión de si se podía utilizar los efectos cuánticos para “hacer señales” con una velocidad más rápida que la de la luz. Si esta posibilidad fuera verificada, se contradiría la teoría de la Relatividad, ya que la causalidad sería violada y de esto se podría concluir cosas que atentarian contra la coherencia de la teorías físicas. Según Nielsen y Chuang, en la computación cuántica, esto equivaldría a la posibilidad de *clonar* un estado cuántico desconocido. En otras palabras, si la clonación del estado de un qubit fuera posible, entonces sería posible enviar cierta información más rápido que la luz usando los efectos cuánticos.



Clonar (copiar) un bit clásico es muy sencillo, pero no es posible hacer lo mismo con un qubit. Este interés comenzó con el *descubrimiento* del *Teorema de No-clonación*. El teorema es muy sencillo de demostrar, como se puede ver en la página 532 del libro de Nielsen y Chuang. Ellos admiten, en ese mismo lugar, que lo que prueba el teorema es la imposibilidad de clonar perfectamente un estado cuántico desconocido usando una evolución (i.e. operación) unitaria. Y se preguntan que pasaría con un estado mixto, o con dispositivos no unitarios; o si a uno le alcanzara con copias imperfectas, de acuerdo con algún grado de fidelidad.

En resumen, el resultado de los trabajos realizados sobre estas preguntas, es que si bien uno permite dispositivos de clonación no unitarios, la clonación de estados puros no ortogonales sigue siendo imposible, a no ser que uno desee tolerar una pérdida de fidelidad finita en los estados copiados. Conclusiones similares se pueden sostener también para estados mixtos, a pesar de que se necesita una aproximación un poco más sofisticada para definir que se entiende por la idea de clonar un estado mixto.

Se supone que la física clásica es un caso especial de la Mecánica Cuántica, sin embargo podemos copiar bits (información clásica) y no qubits (información cuántica). El Teorema de No-clonación no nos impide copiar todos los estados cuánticos, sólo dice que no se pueden copiar los estados cuánticos no-ortogonales. Dados dos estados cuánticos ortogonales, no sólo no lo prohíbe sino que hasta se puede construir fácilmente un circuito cuántico que los copie. Esto resuelve la falsa contradicción entre la posibilidad de copiar información clásica y el Teorema de No-clonación, porque los valores que pueden alcanzar los bits pueden ser considerados como estados cuánticos ortogonales.

Pero hay otro problema, que es el de la conexión entre la información clonable y la accesible. La naturaleza oculta de la información cuántica está basada en el potencial de las teorías de la información cuántica y de la computación cuántica, y la información accesible captura en un modo cuantitativo esta naturaleza. Por ahora no se conoce un método general para calcular la información accesible. Sin embargo, se puede probar una variedad importante de cotas a ella como la “Cota de Holevo”, por ejemplo.

Entonces, según lo visto, si pudiéramos copiar un qubit podríamos hacer señales más rápido que la velocidad de la luz. El Teorema de No-clonación sólo dice no se pueden copiar los estados cuánticos no-ortogonales, no nos impide copiar los demás estados cuánticos. ¿Éstos se pueden copiar más rápido que la velocidad de la luz? Si es así, se invalidaría la teoría de la Relatividad, uno de cuyos axiomas principales es que nada puede viajar más rápido que esta velocidad.

Como vimos a través de todo el texto, esto puede ser un problema muy grave cuando estamos tratando con los objetos de la ciencia como si fueran objetos-en-sí, nómenos. El problema se disuelve si se tratan como fenómenos, y las teorías como sus representaciones posibles. Quizás sí podríamos utilizar las propiedades de las teorías de la Computación Cuántica para transmitir cierto tipo de información más rápido que la velocidad de la luz con los objetos fenoménicos que estamos manipulando, aunque no sea “perfecta”, pero que nos alcance para lograr cierto tipo de comunicación. Esto, sin entrar en contradicciones con postulados o afirmaciones de la Teoría de la

Relatividad, que nos prescriba teóricamente la capacidad de seguir investigando en ciertas líneas experimentales. La teoría relativista, manipula otros objetos fenoménicos y en ellos sus postulados se aplican muy bien.

### **La paradoja EPR y la desigualdad de Bell**

La desigualdad de Bell es un ejemplo demostrativo de una diferencia esencial entre las Físicas Clásica y Cuántica. Cuando se habla de un objeto físico clásico, asumimos que sus propiedades físicas tienen una existencia independiente de la observación. Las medidas sólo las revelan. Por otro lado, de acuerdo a Mecánica Cuántica, una partícula no observada no posee propiedades físicas independientes de la observación, son consecuencias de las medidas realizadas sobre el sistema.

El famoso artículo EPR proponía un experimento mental que demostraba que la Mecánica Cuántica no es una teoría de la Naturaleza completa identificando *elementos de la realidad* que no estaban incluidos en la Mecánica Cuántica. En el experimento introducían una *condición suficiente* para que una propiedad física sea un elemento de la realidad, i.e. que fuera posible predecir con certeza el valor que la propiedad tendría inmediatamente antes de la medida. La Mecánica Cuántica standard, sólo nos dice como calcular las probabilidades de los resultados respectivos de las diferentes medidas que podamos hacer de un sistema. ¿Quién tiene la razón? Treinta años después de publicado el artículo, se propuso un test experimental para decidir el asunto a favor de EPR o a favor de la Mecánica Cuántica. A través de la desigualdad de Bell, se invalidó la posición sostenida por EPR (que Nielsen y Chuang afirman que coincide con la del *análisis del sentido común*), confirmando así la Mecánica Cuántica.

De un modo bastante irónico, afirman cosas como “Efectivamente, la Naturaleza rió al último de EPR...”; o que EPR trataron de imponer de hecho propiedades a la Naturaleza que debía obedecer, y que esto parecía “... la más peculiar manera de estudiar sus leyes.” Si fuéramos popperianos podríamos haber tomado muy en serio esta afirmación de EPR (como seguramente muchos científicos lo hicieron en su momento), como un intento de *falsación* de la teoría de la Mecánica Cuántica que, al final, la terminó confirmando. Pero voy a ir un poco más allá.

En la visión que estoy tratando de defender, primero que nada no tendría sentido buscar una “*condición suficiente* para que una propiedad física sea un elemento de la realidad”. ¿De cuál realidad? De la realidad nouménica no. Quizás de la fenoménica, pero ésta puede variar con las distintas teorías. El experimento EPR no tendría sentido desde sus bases metafísicas. Eso que busca es un “objeto” extraño a la Mecánica Cuántica, por lo que no puede llevar más que a una contradicción lógica con el cuerpo de su sistema de creencias. Por ser una premisa basada en el sistema de creencias del *sentido común*, que es distinto al de la Mecánica Cuántica, como bien dicen Nielsen y Chuang: “... *no es consistente* [lógicamente] *con el análisis del sentido común*.”

Estos autores afirman que se puede realizar *experimentos reales que le pregunten a la Naturaleza* quien tenía la razón. Terminan haciendo operaciones matemáticas y experimentos, para demostrar algo que quizás estaba invalidado lógicamente de antemano. Para esto utilizan la comparación entre la desigualdad de Bell (del lado del sentido común) contra la fórmula que resulta de un

experimento mental basado en la Mecánica Cuántica, y se realizan distintos experimentos usando fotones para comprobar una u otra, dando el resultado que mencionamos más arriba. Acto seguido, Nielsen y Chuang analizan por qué es que falla la desigualdad de Bell. Según ellos, para llegar a ella, se hacen dos presuposiciones, llamadas del *Realismo Local*, las que o están equivocadas ambas, o una de ellas. La primera presuposición, es la del Realismo, y la segunda es la de la Localidad.

La presuposición del Realismo, es la que afirma que las propiedades físicas tienen valores definidos que existen independientemente de la observación. La de la Localidad, dice que si en un par de qubits enredados (EPR) que luego son separados, medimos uno de ellos, esta medida no influye en la medición del otro. Estas dos premisas coinciden con el sentido común, pero si intentáramos razonar con ellas dentro de la Mecánica Cuántica, llegaríamos a contradicciones. No es que algunas de ellas no esté bien. No son compatibles con la Cuántica, y punto. Sin embargo, Nielsen y Chuang, dicen que sus “...intuiciones de sentido común sobre como el mundo trabaja están equivocadas. El mundo *no* es Realista Local.”

Al introducir el enredo en un problema determinado, como ser la teleportación y/o la codificación superdensa, se abre un nuevo mundo de posibilidades inimaginable con la computación clásica. La desigualdad de Bell nos enseña que el enredo es fundamentalmente un nuevo recurso en el mundo que va más allá de los recursos clásicos. La tarea de la computación cuántica y de la información cuántica es explotar este nuevo recurso, para realizar tareas de procesamiento de datos imposibles o muy dificultosos con recursos clásicos. Estas tareas requieren la utilización de una representación del mundo fenoménico distinta de la que nos dicta la Física Clásica (o del sentido común). Pero no es un enfrentamiento entre teorías a matar o morir. Son dos representaciones cuya aplicabilidad tecnológica se materializa en ámbitos y para propósitos diferentes. No es una competición a ver quién modela mejor a la Naturaleza en sí, al mundo nouménico. Es tratar de utilizar nuestra comprensión posible del mundo fenoménico para aprovechar tecnológicamente las potencialidades que nos brindan las poderosas herramientas teóricas que nos brinda la Física Moderna.

## **REFLEXIONES FINALES**

Como seres humanos, estamos atrapados en un mundo entre el macrocosmos y el microcosmos. En él debemos vivir. En términos del Budismo: debemos llegar a ser, permanecer, decaer y desaparecer. Para este propósito, hemos desarrollado a través de la evolución una arquitectura mental y física, que nos permite seguir viviendo, manteniendo el delgado y delicado equilibrio de nuestras vidas. Pero queremos más: queremos descubrir los secretos últimos del Universo; de ambos reinos: del macro y del micro. Hacemos lo que podemos, la pregunta es: ¿dónde está el límite de nuestro conocimiento? La respuesta parece estar en las herramientas finitas que tenemos para esa tarea infinita.

Según palabras kantianas, del mundo nouménico no podemos decir nada necesario y universal. En palabras actuales, de los objetos en sí, que existen fuera de nuestra mente, no podemos enunciar ninguna proposición que sea aceptada como verdadera, sin controversias, por todos los sistemas de creencias a los que algún ser humano pueda adherirse o concebir. Sin embargo, sí podemos afirmar sobre ellos cualquier juicio o proposición metafísicos que, sin ser necesarios y universales, es válido para el sujeto que lo enuncia, lo considera, y/o analiza su inserción dentro de su sistema de creencias personal.

Una cosa es no poder afirmar nada válido universalmente y otra es no poder afirmar nada. Volvemos a caer en una trampa dialéctica al crear esta falsa oposición entre lo universalmente aceptado y la ignorancia. La actual situación de la especie humana en el Universo, es un éxito de supervivencia que se representa a sí misma en este sentido, pero también a las especies de las que evolucionó, en un proceso que ha durado millones de años. Si nuestro aparato cognoscitivo (sensorial y conceptual) estuviera tan lejos de lo que es la realidad última (o nouménica), no podríamos haber sobrevivido ni una generación. No necesitamos saber *exactamente* como es para poder sobrevivir.

Si tuviéramos otra arquitectura psíquica, quizás podríamos saber cómo es esa realidad en sí, pero posiblemente no podríamos sobrevivir; no tenemos idea porque esto no ha ocurrido y, como vimos anteriormente, en este sentido, el tiempo es irreversible. Así hemos evolucionado para subsistir como individuos y como especie, y no para la meta que nos fijamos nosotros como curiosos que somos, la de entender las verdades últimas del Universo. También estamos atrapados entre el conocimiento universal y el no saber nada. Esto no quiere decir que estemos lejos de saber esas verdades, ni tampoco que estemos cerca. Parece ser que nunca tendremos la certeza, por más que sintamos que estamos avanzando.

Cada uno de nosotros, para poder vivir en este mundo y en esta sociedad, individualmente debe estar seguro de lo que cree que ellas son en realidad. No se necesita más. Para este fin siempre se está preguntando qué sabe para poder actuar de cierta manera como consecuencia de ello, frente a las situaciones que se le presentan en su día a día. Así, desde que nace hasta que muere, uno se va formando su “sistema de creencias”. Es imposible que esa seguridad pueda retransmitirse a toda la humanidad transplantando un sistema de creencias individual a todos los seres humanos.

La diferencia fundamental entre la ciencia y la metafísica occidentales, por un lado, y la metafísica budista, por otro, es que las primeras, buscan la intersubjetividad absoluta de los conceptos; en palabras kantianas, la necesidad y la universalidad de los juicios científicos y metafísicos. La segunda busca el conocimiento individual del sujeto que busca la verdad del universo en su propio

interior. Si bien las preguntas son las mismas, la cualidad y los objetivos son diferentes.

La búsqueda de la verdad occidental aparece como una cierta imposición, un intento de convencer a los demás de que cierto tipo de sistema de creencias vale para todo sujeto en todo tiempo y lugar. Por otro lado, la búsqueda de la verdad oriental aparece como una invitación a acercarnos a su modo de conectarse individualmente con el universo y sus verdades últimas.

La doctrina budista de la impermanencia y la vacuidad, a través de la *Doctrina de las Dos Verdades* nos sugiere que los científicos están correctos, actuando como si el mundo sensible fuera de la manera como las teorías físicas dicen que es, porque tiene una existencia intersubjetiva o convencional. Lo mismo se puede derivar del pensamiento kantiano, pero igualando objetos con fenómenos; es decir, igualando “realidad objetiva” con “mundo fenoménico”.

Una consecuencia clara de la igualación de objetos de la ciencia con la realidad misma, es que, en ese caso, entrando en un terreno kuhneano, sería verdad que los científicos de distintos paradigmas viven en “mundos diferentes”, ya que cada teoría describe al mundo en distintas formas. Si hacemos la igualación con los fenómenos, este problema desaparece y podemos decir que es el mismo mundo nouménico, pero con representaciones mentales distintas, lo que parece más plausible, por lo menos a los ojos del sentido común.

Otra ventaja, de esta visión es que, si en algún caso sucediera que cierta afirmación o hipótesis que en la teoría es indudablemente verdadera, pero en la práctica se vea refutada por algún contraejemplo surgido de un experimento, si uno estuviera operando con objetos reales, entraría en contradicción con la realidad, encontrando una paradoja; consecuentemente, mi ciencia entraría en crisis. Pero si yo admito que estoy trabajando con fenómenos, lo que puedo es cambiar la teoría para que se ajuste a este resultado, sin generar traumas, ni “humillaciones”, ni correr el riesgo de que la ciencia pierda credibilidad.

No es algo muy extraño en la historia de la ciencia. Si no pregúntenle a Kuhn. El cambio de mentalidad de los científicos propuesto en este texto no implica que deban o no reformular una cierta teoría, si algún experimento no coincide con ella. De una u otra forma, tarde o temprano, deberán hacerlo porque la incompatibilidad entre experimentos (o hechos) y las teorías los llevan a eso. De todos modos, así surgió la propia Mecánica Cuántica. El cambio de mentalidad nos lleva a otra actitud, a una más humilde y menos arrogante; y para nada menoscaba el éxito de la ciencia y de la tecnología.

El ejemplo analizado, me lleva a la conclusión de que al intentar construir aplicaciones tecnológicas, se “fuerza” a los fenómenos para hacerlos coincidir con las teorías. Del éxito de esta construcción, se extrae la deducción (para mí ilegítimamente) de que se opera con la realidad misma, y de que la teoría representa al orden que existe en la naturaleza. Hemos visto que dicho orden no está en ella, sino en nuestra mente. El hecho de que todos los datos empíricos, i.e. los resultados experimentales y las aplicaciones tecnológicas, parecen confirmar estas teorías, es la comprobación del éxito de la actividad de los científicos.

El punto es que ellos deben abandonar su realismo epistemológico (o matemático). El gran éxito de la ciencia moderna está en las aplicaciones prácticas y tecnológicas, no en su sistema de creencias metafísico. Una cosa no justifica a la otra: que los experimentos den los resultados

predichos por la teoría, no hace a la ciencia dueña de la verdad absoluta. Voy a citar a Kuhn para mostrar claramente lo que quiero expresar: “..., lo que está fundamentalmente en cuestión es más bien la teoría de correspondencia de la verdad, la noción de que el objetivo, cuando se evalúan leyes o teorías científicas, es determinar si, o no, corresponden a un mundo externo, independiente de la mente. Es esa noción, sea en forma absoluta o probabilística, la que estoy persuadido que debe desaparecer...”.

Estoy convencido de que todos tenemos la capacidad de desarrollar al máximo nuestras potencialidades, tanto hacia un pensamiento racional absoluto, como para un pensamiento místico, o para un pensamiento que incluya algo de uno y algo del otro. También es verdad que algunos tenemos inclinaciones innatas más para un lado que para otro. Esto influye en nuestra voluntad de desarrollar o no esas potencialidades. Esta voluntad o no de creer en ciertas premisas que nos lleven a alguno de esos caminos de vida, es absolutamente personal. Depende de cada uno de nosotros y de nuestro sistema de creencias, de nuestras ideas, adquiridas o innatas.

Creo firmemente en que así como nuestras huellas digitales y nuestro genoma nos identifican como individuos, así nuestros sistemas de creencias individuales son distintos para cada uno de nosotros. Aunque sea en matices, así como alguna línea de los patrones en nuestros dedos, o algún par de cromosomas en nuestro genoma, nos hacen distintos, individuales, contingentes, especiales.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- [1] Bunge, Mario, “La Teoría Relacional y Objetiva del Tiempo Físico”, Instituto de Lógica y Filosofía de las Ciencias, Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación de la Universidad Nacional de La Plata, La Plata
- [2] CAPRA, Fritjof, *The Tao of Physics*, Shambhala Publications Inc., Colorado, USA, 1975
- [3] EINSTEIN, Albert, *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie*, en PEARCE WILLIAMS, L., *RelativityTheory: Its Origins and Impact on Modern Thought*, John Wiley & Sons, 1968 (Tr. Española en PEARCE WILLIAMS, L., *La teoría de la relatividad: Sus orígenes e impacto sobre el pensamiento moderno*, Alianza Editorial, Madrid, 1973)
- [4] EPSTEIN, Ron, *Buddhism A To Z*, the Buddhist Text Translation Society, 1992, <http://online.sfsu.edu/%7Erone/Buddhism/BuddhistDict/BDT.html>
- [5] EPSTEIN, Ron, *Resources for The Study of Buddhism*, Philosophy Department, San Francisco State University, San Francisco, 2001
- [6] GAMBINI, Rodolfo, *Física y Realidad*, en Markarian, R. and Gambini, R. (ed.), “Certidumbres, Incertidumbres, Caos; Reflexiones Entorno a la Ciencia Contemporánea” , pp. 17-47, Ediciones Trilce, Montevideo, Uruguay, 1997.
- [7] KANT, Emmanuel, *Crítica de la Razón Pura*, Editorial Porrúa, México, 1996
- [8] KANT, Emmanuel, *Fundamentación de la Metafísica de las Costumbres*, Editorial Porrúa, México, 1998
- [9] KANT, Emmanuel, *Die Metaphysischen Anfangsgründe der Naturwissenschaft* (1786), traducida como *The Metaphysical Foundations of Natural Science*, por ELLINGTON, James, Bobbs-Merrill Co., Inc., 1970, PREFACE. Ver en *Selection from Kant's Metaphysical Foundations of Natural Science*, <http://www.uwplatt.edu/~drefcins/254KantMetaScience.html>.
- [10] KANT, Emmanuel, *Prolegómenos a toda Metafísica del Porvenir que haya de poder presentarse como una ciencia*, Tr. Julián Besteiro, Editor Daniel Jorro, Madrid, 1912.
- [11] KUHN, Thomas S., *El Camino Recorrido desde la Estructura de las Revoluciones Científicas*, Revista Galileo, Departamento de Historia y Filosofía de la Ciencia, Instituto de Filosofía, Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, Universidad de la República Oriental del Uruguay, N° 9, abril 1994.
- [12] MACH, Ernest, *The Science of Mechanics*, en PEARCE WILLIAMS, L., *RelativityTheory: Its Origins and Impact on Modern Thought*, John Wiley & Sons, 1968 (Tr. Española en PEARCE WILLIAMS, L., *La teoría de la relatividad: Sus orígenes e impacto sobre el pensamiento moderno*, Alianza Editorial, Madrid, 1973)
- [13] MANSFIELD, Víctor, *Time in Madhyamika Buddhism and Modern Physics*, in “The Pacific World Journal”, Institute of Buddhist Studies, Department of Physics and Astronomy, Colgate University, Nueva York, Vol. 11 y 12, 1995-1996, p. 10, <http://www.lightlink.com/vic/time.html>
- [14] NEWTON, Isaac, *Philosophiae naturalis principia Mathematica*, en PEARCE WILLIAMS, L., *RelativityTheory: Its Origins and Impact on Modern Thought*, John Wiley & Sons, 1968 (Tr.

Española en PEARCE WILLIAMS, L., *La teoría de la relatividad: Sus orígenes e impacto sobre el pensamiento moderno*, Alianza Editorial, Madrid, 1973)

[15] NIELSEN, Michael A., CHUANG, Isaac L., *Quantum Computation and Quantum Information*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 2000

[16] OMNÈS, Roland, *The Interpretation of Quantum Mechanics*, Princeton University Press, Princeton NJ, EE.UU., 1994

[17] OSKIN, Mark, *Quantum Computing – Lecture Notes*, Department of Computer Science and Engineering, University of Washington.

[18] PALOMO-LAMARCA, Antonio, *Kant y la Tradición Filosófica Hindú*, A Parte Rei 21, España, <http://serbal.pntic.mec.es/~cmunoz11/hindu.pdf>

[19] RIEFFEL, Eleanor y POLAK, Wolfgang, *An Introduction of Quantum Computing for Non-Physicists*, FX Palo Alto Laboratory, Palo Alto, California, USA, 2000.

[20] THICH NHAT HANH, en ed. [TAN CHADE-MENG](#), *What do you think, my friend? (Writings on Buddhism)*, 1995, <http://www.serve.com/cmtan/buddhism/Treasure/impermanence.html>

[21] VEGA DELGADO, José, *Ensayo de una Explicación Metafísica del Tiempo*, Publicaciones de la Universidad Católica de Cuenca, Ed. Don Bosco, Cuenca, 1974