

## **La matemática, la física y la filosofía** **Mathematics, physics and philosophy**

ROBERTO MARTÍNEZ & LEONARDO RENDÓN  
Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

RESUMEN. Una revisión de como evolucionaron los conceptos de la física y la filosofía y el papel de las matemáticas en la construcción de los esquemas formales para entender el mundo.

*Key words and phrases.* Mathematics, Physics, Philosophy.

ABSTRACT. A review of how evolved concepts of physics and philosophy and the role of mathematics in the construction of formal schemes in order to understand the world.

*2010 AMS Mathematics Subject Classification.* Primary: 01A99

Desde la época de los griegos la concepción filosófica del mundo estaba relacionada con la visión física que se tenía de la naturaleza. Para ARISTÓTELES los cuerpos estaban dotados de causas y seguían propósitos según su naturaleza. El movimiento natural tiene como objeto la realización de una causa. La piedra cae porque su fin es hacer parte de la tierra y su comportamiento está asociado a la causa eficiente. La causa material y formal determina la naturaleza de las cosas, en cambio la causa eficiente y final es responsable del movimiento. El mundo se dividía en dos partes: la región lunar, donde residían los objetos que por su naturaleza eran divinos e inmutables y la región sublunar donde está la tierra y los cuerpos que cambian. El pensamiento Aristotélico y la concepción del mundo perduró hasta el renacimiento, cuando los nuevos físicos como GALILEO cuestionaron dicha forma de ver la naturaleza, muy arraigada en la iglesia católica. GALILEO invita a observar los planetas a través del telescopio y ver que no eran esferas perfectas y que además tenían fases, rompiendo con el pensamiento Aristotélico de la época que relacionaba los cielos, divinos e inmutables, con la concepción teológica del mundo, una representación de Dios. La aceptación de manchas solares indujo a los jesuitas apartarse de ARISTÓTELES y PTOLOMEO.

Por otra parte, las matemáticas surgen como una necesidad para medir las tierras para las cosechas; también para las mediciones requeridas en la guerra. Poder ubicar objetos para determinar la capacidad de las armas o las distancias en el mar. Las matemáticas nacieron como relaciones de carácter práctico. El teorema de Pitágoras nació del trazado de ángulos rectos en el terreno. Los babilonios hicieron importantes avances en la aritmética, conocían la solución de la ecuación de orden dos y fueron capaces de predecir eclipses lunares. Inventaron el sistema sexagesimal. Los pitagóricos encontraron relaciones entre las longitudes de las cuerdas y las notas musicales, afirmaban que los números regían el universo. ARQUÍMEDES debió ocupar su tiempo en la construcción de armas para la guerra, midió áreas delimitadas por curvas y también pudo determinar una aproximación del número  $\pi$ . Realizó importantes aportes a la hidráulica y encontró la ley de las palancas.

Es muy importante la ruptura epistemológica que nace con NEWTON suponiendo que existe una ley de la gravitación universal que se aplica a los cuerpos celestes y a los objetos que caen en la tierra. NEWTON rompe con el paradigma de que los planetas son arrastrados por ángeles que los mueven alrededor del sol obedeciendo una música celestial, como lo había establecido Kepler para poder explicar sus leyes planetarias. Rompió entonces con la concepción Aristotélica; se dejó de pensar en cielos inmutables asociados a ideas celestiales y divinas. Son leyes universales iguales para todos los objetos de la naturaleza. Sin embargo, NEWTON siguió acuñando a Dios propiedades de la naturaleza como son el tiempo y el espacio: absolutos, verdaderos, matemáticos, sin relación con algo exterior y que transcurren uniformemente como un reflejo de Dios. Son el escenario donde residen las cosas y ocurren los fenómenos. El espacio y el tiempo relativos, aparentes y vulgares están relacionados con el cambio de las cosas y la duración de los fenómenos.

Es importante mencionar a KANT, con su crítica de la razón pura, cuando plantea los a priori. Es necesario un juicio de la razón para que la percepción se convierta en experiencia y tenga validez universal. Un concepto de esta clase es un concepto a priori del entendimiento. La percepción es subjetiva y requiere de otro juicio para que se convierta en universal y empírica. Los juicios sintéticos no se pueden construir a partir de la intuición, requieren de un concepto adicional que proviene del entendimiento. Estos conceptos son a priori, anteriores a la experiencia. Por ejemplo, los conceptos de la geometría no son producto de la experiencia sino que son juicios a priori, en nuestra mente antes de la experiencia. El quinto postulado de la geometría de EUCLIDES no es necesario contrastarlo porque el mundo es así, e igualmente nuestras ideas que son un reflejo del mundo donde vivimos: nacemos con estos juicios. Posteriormente aparecen los matemáticos como GAUSS y RIEMANN con nuevas ideas sobre la geometría y cuestionan el quinto postulado de la geometría de EUCLIDES. En particular, GAUSS trató de medir los ángulos interiores de un triángulo formado por montañas para determinar si la suma de los ángulos

interiores era igual a 180 grados. Los matemáticos cuestionaron la geometría como un juicio *a priori*. Con las geometrías no euclidianas se muestra que no hay juicios *a priori* y es la experiencia la que determina los paradigmas. El espacio que se forma alrededor de un cuerpo muy masivo tiene una geometría no euclidiana y una consecuencia de ello es la explicación y el recálculo con exactitud del perihelio de mercurio, que hizo EINSTEIN con su nueva Teoría de la Relatividad General, lo que corroboró el cálculo de la parte residual efectuado por LE VERRIER (1875) mediante perturbaciones.

En el afán de refinar la geometría euclidiana, los matemáticos intentaron reducir el número de axiomas con el fin de obtener un modelo más refinado y elegante. Las miradas recayeron sobre el quinto postulado que asegura que por un punto externo a una recta pasa una única recta paralela. En los diversos intentos realizados en busca de una prueba se usaron resultados que a la postre resultaban equivalentes a aquel. Al intentar realizar la prueba por reducción al absurdo, es decir; trabajar con los demás postulados y la negación del quinto postulado, los matemáticos esperaban llegar rápidamente a una contradicción, lo que no sucedió. Creando en ellos la sensación de estar ante algo grandioso y desconocido pues de un lado aparecía una nueva teoría, sin ejemplos que la modelaran, que contrastaba el modelo euclidiano por todos aceptado, y de otro lado la palabra consistencia de una teoría tomaba nuevas proporciones e interrogantes. Es en esos momentos históricos donde las diferentes disciplinas y las ciencias en general ganan una dinámica nueva en la que el riesgo y la osadía son premiados con un lugar destacado en la historia de la ciencia, hoy reconocemos los trabajos elaborados en el siglo XIX, de forma independiente, por GAUSS, LOBACHEVSKI y BOLYAI como los gestores de la nueva geometría, actualmente conocida como geometría hiperbólica, posteriormente los trabajos de KLEIN y BELTRAMI ofrecieron los ejemplos naturales de aplicación de la nueva geometría. La confrontación intelectual que creó la nueva geometría llevó a repensar el concepto de consistencia, tema en el cual los lógicos siguen trabajando de la mano de GÖDEL y con la teoría del *forcing*. Con el concepto de curvatura y los trabajos de GAUSS es posible trabajar unificadamente las diferentes geometrías.

Vemos pues como la filosofía, la física y la matemática han permitido construir nuevos paradigmas que terminaron en modelos matemáticos o teorías científicas sobre el mundo. El siglo XIX se caracterizó porque primó la concepción positivista del mundo; nadie quería caer en posturas filosóficas o enunciados metafísicos como hipótesis del mundo. Los sentidos dictaban a la razón sobre la naturaleza y no era la razón la que hacía hipótesis sobre la naturaleza. Existía una frontera muy bien definida sobre un enunciado de la naturaleza y una premisa metafísica, la experiencia mediada por los sentidos. Esta concepción positivista no permitió aceptar el concepto de átomo porque no se podía ver. Tampoco se podía postular su existencia porque sería una premisa metafísica. Una consecuencia de esta postura filosófica llevo a la construcción del

concepto del calorífico, un humor que despedían los cuerpos para entender el calor emitido por los cuerpos por el efecto del rozamiento. De esta manera, la aceptación de la concepción estadística de los gases, usando el concepto de átomo postulado por BOLTZMAN, se retardó hasta el siglo XX. Se asumía que el mundo era continuo y no atómico. Con PLANCK, al construir la teoría de radiación de cuerpo negro, se tuvo que cambiar esta postura positivista de la naturaleza, a pesar de que el mismo PLANCK era un positivista convencido. Sin la introducción de la concepción atómica no se podían entender nuevos fenómenos que aparecían y que solo se podían explicar con la cuantización de las energías provenientes de los átomos.

En 1905, con el efecto Fotoeléctrico explicado por EINSTEIN, se abrió la puerta a nuevas concepciones de la naturaleza y la visión positivista del mundo fue cambiando para aceptar nuevas construcciones y posturas filosóficas sobre la naturaleza. En 1905 nacen nuevas construcciones del espacio y el tiempo. Los conceptos de espacio y tiempo dejan de ser absolutos en el sentido newtoniano para convertirse en conceptos relativos que dependen del observador. Cada observador tiene su reloj y su regla y puede comparar sus medidas con las de otro observador, existen reglas de transformación, pero el tiempo no transcurre uniformemente y tampoco es absoluto el espacio donde residen las cosas. De igual manera nacen teorías cosmológicas que nos dan una cosmovisión mas precisa del Universo basada en geometrías no euclidianas. Entre ellas tenemos la Teoría del *Big Bang* formulada por LEMAÎTRE y GAMOW y basada en la Relatividad General de EINSTEIN. Nuevos instrumentos de medición como el satélite Hubble nos dicen que las estrellas más lejanas están aceleradas y por tanto la cantidad de materia que observamos en el conglomerado de galaxias es solo el 25% de lo que debería existir. El satélite COBE nos ha revelado una anisotropía en la radiación cósmica de fondo y una consecuencia de ello es que tuvo que existir una etapa inflacionaria para poder explicar dicha anisotropía y la formación de las galaxias. Sobre estos paradigmas se vuelca la ciencia moderna e incluso las comunidades científicas no tienen certeza sobre si las teorías así construidas son las teorías finales.

Como vemos, en el desarrollo científico hay una relación estrecha entre física, matemática y filosofía que van de la mano y van mutando según evolucionan las teorías para describir los fenómenos de la naturaleza. Nuestra mente ha estado entrenada para ver los fenómenos que nos rodean. El mundo cuántico, por ejemplo, lo vemos de forma indirecta a través de nuestros equipos de medición. Por esta razón nos ha sido difícil interpretar sus leyes. La discusión entre EINSTEIN y BOHR versó sobre: la naturaleza probabilística, la medida indeterminada, la completez y el realismo de la teoría cuántica, la cual duró cerca de 20 años. Todos concuerdan en las predicciones matemáticas de las teorías y la forma de medir, pero no en la interpretación del mundo microscópico. Nació la famosa paradoja de EINSTEIN-PODOLSKY-ROSEN tratando de mostrar que el principio de incertidumbre, la imposibilidad de medir con precisión posición

y momento de una partícula en mecánica cuántica, no era una propiedad de la naturaleza, sino que era debido a la existencia de variables ocultas que nos hacía ver el mundo como si fuera indeterminado. Actualmente sabemos que la mecánica cuántica tiene sus propias leyes que tenemos que aprender y no es nuestra concepción clásica del mundo la que tenemos que acuñar para entender el átomo. Teorías matemáticas recientes como las geometrías no conmutativas serían el escenario para comprender el principio de incertidumbre de la mecánica cuántica.

Por esta razón la concepción popperiana del mundo fue importante en el sentido de que las teorías tienen validez como elucubración teórica, pero sólo la experimentación se puede usar como criterio de demarcación entre la ciencia empírica y la metafísica. Un ejemplo para ilustrar lo constituyen la teoría newtoniana de la gravitación y la Teoría General de la Relatividad de EINSTEIN. Para campos gravitatorios débiles y pequeñas velocidades las dos teorías coinciden y son igualmente válidas. Para grandes distancias y para el Universo a gran escala es la teoría General de la Relatividad de EINSTEIN la que se impone.

Nuevos aspectos de la ciencia y la interpretación filosófica de sus enunciados van apareciendo. Por ejemplo, el concepto de realidad comienza a desdibujarse. Cómo se construyen las teorías científicas no es claro desde el punto de vista filosófico. Recientemente se descubrió un *quark top* en el colisionador Tevatron en Fermilab. En cintas magnéticas se registra el paso de unas partículas con ciertas energías. Usando la teoría vigente, el modelo estándar de las interacciones electro débiles, y suponiendo su validez por su capacidad predictiva asociada a su concordancia con los experimentos, y puesto que no se ha tenido un experimento que falsee la teoría para tener que reformularla, se puede estudiar el decaimiento de la hipotética partícula *quark top*, recreando las condiciones en el colisionador. Se compara la predicción del modelo con las señales en las cintas del colisionador y entonces se concluye que existe una nueva partícula en la naturaleza, el *quark top*. Tenemos una forma muy singular de construir la realidad del mundo, la existencia de nueva materia. La comunidad científica se pone de acuerdo en qué consiste el método para decidir sobre la existencia de nueva materia. Estas metodologías están sujetas a nuevas discusiones filosóficas sobre la manera de entender el mundo: sobre la validez de la realidad y la metodología de trabajo de las comunidades científicas.

Con el nuevo colisionador de partículas LHC se espera algo similar. Si se llegara a observar señales extrañas en las cintas de los computadores de los diferentes detectores del colisionador, entonces se buscaría entre los modelos propuestos que predigan señales similares. Así los modelos comienzan a cobrar validez hasta tener nuevas señales para corroborarlos o refutarlos y así llegar a una nueva teoría científica.

Metodologías similares se aplican en la Historia para estudiar hechos que se reconstruyen con documentos y recrean la historia de la evolución de las

sociedades. Como diría PLATÓN en el mito de las cavernas, vemos sombras reflejo del mundo real, el mundo de las ideas. Argumentos similares se usan en la antropología para entender la aparición del homo sapiens, cómo paso de primate a hombre pensante, cómo comenzó a cazar y a usar instrumentos; cómo nacieron las comunidades y las sociedades el origen de las culturas. Por esta razón le damos tanta importancia a las bibliotecas o a los hallazgos prehistóricos.

Vemos pues cómo el conocimiento fundamental se va entrelazando y cómo se van creando nuevos conceptos de realidad. La historia, la antropología, la filosofía y la matemática tiene muchas cosas en común y metodologías que han permitido construir el pensamiento humano.

Recientemente se han construido modelos económicos para entender las macroeconomías usando ecuaciones de la física y la matemática. Por ejemplo las ecuaciones de FOKKER-PLANCK, de BOLTZMANN o de NAVIER-STOKES de los fluidos son usadas para estudiar fenómenos colectivos, que tienen una evolución suave en el tiempo. Muchos sistemas económicos, en situaciones de no crisis, se comportan suavemente y se puede predecir su comportamiento. Las bolsas del mundo son predecibles y hay especialistas simulándolas para asesorar a los grandes inversionistas o a los estadistas para saber el comportamiento de las economías de sus países y las acciones a realizar. Saber cuándo es conveniente prestar dinero o cuando es necesario pagar deudas, cuando se debe construir infraestructura o como invertir los superávits de un país. Modelos económicos que se comportan de manera similar al movimiento browniano, procesos de MARKOV. También los modelos que se han construido para estudiar la seguridad de reactores nucleares, basados en la teoría de probabilidad, se han implementado para crear modelos económicos. Sin embargo, a pesar de la belleza de la ciencia y su capacidad predictiva, que permite hacer nuevos ricos, también tiene puntos álgidos. La ambición humana lleva los sistemas a puntos críticos de la economía, que se salen de los comportamientos suaves de las ecuaciones y se pierde todo el poder predictivo. Entonces entramos en crisis mundiales que nadie sabe cómo resolver. Junto a estos problemas deberíamos definir nuevos paradigmas de la filosofía sobre la moral y la ética. Seguramente SÓCRATES ya estaría en su escuela con sus alumnos tratando, mediante diálogos, entender estos problemas de la moral y la conducta humana, relacionados con la riqueza humana y el éxito personal.

(Recibido en agosto de 2012. Aceptado para publicación en octubre de 2012)

ROBERTO MARTÍNEZ  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, BOGOTÁ, COLOMBIA  
*e-mail*: remartinezm@unal.edu.co

LEONARDO RENDÓN  
DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, BOGOTÁ, COLOMBIA  
*e-mail*: lrendona@unal.edu.co