

Cosmovisiones Científicas

Carlos Muñoz Gutiérrez

La Visión del Mundo en la Época Griega

La mitología griega destaca un momento en la génesis del Universo que tradicionalmente se describe como un paso del *caos* al *cosmos*. *Cosmos* en griego significa orden y en el momento en que un estado originario y caótico se organiza y conforma, surge el mundo con un comportamiento regular y estable, cuyo acontecer lo mide *Cronos*, el tiempo.

En el origen del pensamiento científico y filosófico, que anteriormente hemos designado como *el paso del mito al logos*, correlativamente ahora hablamos del paso *del caos al cosmos*-, alrededor del siglo VI a.C., encontramos dos modelos enfrentados de racionalidad con los que ordenar ese caos mítico e informe. Son dos posturas que encontramos en los primeros pensadores a los que llamamos *presocráticos*. Denominación no demasiado acertada porque su investigación era fundamentalmente física y no tenía nada que ver con la de Sócrates, que era estrictamente moral. Se preguntaban por el origen, $\alpha\rho\chi\eta$ (*arjé*), de todo lo existente.

Entre estos físicos presocráticos encontramos a dos, Parménides y Heráclito, que ofrecieron dos modelos distintos de ordenar el caos.

1. Parménides de Elea pensaba que *"lo que es es y que es imposible que no sea. Y que lo que no es no es y es imposible que sea"*. De esta manera, Parménides pensó el mundo cerrado, finito e inmóvil. Acudió a lo estático y permanente como la fuente de comprensión y racionalidad para el hombre. Indudablemente, uno de los problemas fundamentales para el mundo griego era explicar el movimiento. ¿Cómo es posible que los seres cambien y sigan siendo los mismos; mientras que otras veces, un ser cambia y deja de ser? ¿Cómo podemos comprender estos comportamientos? ¿Cómo podemos conceder un comportamiento regular y necesario a algo que cambia constantemente? En esa búsqueda de lo que no se muestra, para explicar lo que podemos observar, Parménides pensó una realidad inmutable, fija y estable, que se escondía detrás de las apariencias y que era el objeto propio de la ciencia.
2. Heráclito de Éfeso afirmaba que *"no nos podemos bañar dos veces en el mismo río"* y *"Todo fluye nada permanece"*. Heráclito tomó justo el camino contrario a Parménides, pensó que el cambio había que comprenderlo no desde lo estable, sino desde el cambio mismo. El Cosmos debía ser un mundo en cambio perpetuo y ese mismo dinamismo era el que nos permitiría comprender el acontecer de la naturaleza. Ya Parménides y Heráclito plantearon una dicotomía que aún hoy discutimos. ¿Debe lo observable explicarse concediendo realidad y causalidad a algo oculto que lo explica o, al contrario, debe explicarse lo observable desde lo observable mismo?

¿Debemos comprender el cambio desde algo permanente o debemos asumir que todo cambia y buscar elementos de comprensión del movimiento mismo?

Vamos a encontrarnos con esta pregunta formulada constantemente a lo largo de la historia de la ciencia y de la humanidad. El que tanto Platón como Aristóteles

eligieran la opción de Parménides ha hecho que fundamentalmente la búsqueda de la estabilidad y la permanencia para comprender lo cambiante, haya sido la que ha caracterizado la racionalidad occidental, aunque veremos que, a veces, en ciertos contextos, para comprender ciertos fenómenos, será necesario recurrir al modelo explicativo de Heráclito.

La Cosmovisión Antigua: El Mundo como un organismo

Sobre el modelo de racionalidad que había inaugurado Parménides, el mundo griego construye una visión naturalista del Cosmos, cuya característica fundamental podría ser la de pensar el Cosmos como un organismo vivo.

El Cosmos es el resultado de la relación de los distintos seres entre sí, igual que la que mantienen las partes de un cuerpo vivo. Hay en él y en cada parte una fuerza natural y espontánea que hace a la cosa ser lo que es. La ciencia tiene como tarea precisamente el conocimiento de esas fuerzas.

La cosmovisión del mundo griego tiene diversas bases:

- La cosmología de Aristóteles
- La geometría de Euclides
- La medicina de Galeno y de los tratados hipocráticos
- La Astronomía de Ptolomeo

Según Aristóteles, lo existente es la sustancia, algo, un sujeto, que soporta distintas propiedades o atributos. Esta sustancia se compone de una forma o esencia que hace a la cosa ser lo que es y que es el objetivo de la ciencia y de una materia que es común a todo lo existente. La esencia o forma es el conjunto de condiciones necesarias y suficientes que hay que reunir para ser algo en concreto: un árbol, un animal o un ser humano.

Todo el Universo se organiza en función de lo que contiene, de este modo, el mundo tiene partes diferenciables y no intercambiables; el mundo tiene un arriba y un abajo que, evidentemente, no pueden alternarse. De esta manera, se arroja una visión jerárquica de la naturaleza donde cada cosa tiene su sitio y su función. Por eso, -como veíamos antes- las cosas por su propia naturaleza tienden a ocupar el lugar que les corresponde. Incluso el espacio lo entiende Aristóteles como lugar y lo define como "*el límite externo del cuerpo envolvente*" (*Física 211b/212a*).

El Sustancialismo aristotélico es la estructura conceptual que va a permitir al mundo griego dar una explicación coherente de lo real y su devenir.

Para constituir una sustancia, a la materia que es algo indiferenciado y moldeable se le impone una determinación, la forma o esencia, que contiene su modo de ser y, naturalmente, la secuencia y la causas de su desarrollo.

Aristóteles utiliza una lógica categorial, de sujeto y predicado, al interrogar a la naturaleza. Analiza los elementos del mundo para agruparlos en conjuntos y categorías, con la intención científica de obtener las condiciones necesarias y suficientes que algo debe reunir para pertenecer a un grupo u otro. La sustancia es lo que está por debajo, la que sustenta distintas maneras de aparecer de las cosas, los accidentes, y la posibilidad el cambio. Efectivamente, podemos hacer afirmaciones de existencia, como, por ejemplo, '*esta piedra existe, es*'. Pero también, '*esta piedra es dura*' o '*esta piedra es gris*'. Lo que añade Aristóteles al planteamiento de Parménides es la comprensión de la diferencia entre la afirmación de la existencia y la atribución de propiedades a eso existente. Así, de entre las atribuciones de propiedades a algo existente,

algunas de ellas, serán accidentales, es decir, no necesarias a su existencia como algo, mientras que otras serán esenciales, es decir, que si cambiaran, la cosa dejaría de ser lo que es. Por eso, dirá Aristóteles: *"el ser se dice en muchos sentidos"*. Esta distinción entre ser y ser algo le permitió solucionar las paradojas que había legado Parménides a la posteridad.

De todo esto se obtienen dos importantes consecuencias:

1. Podemos dividir lo existente en el mundo en grupos, lo que Aristóteles llama *categorias*, en función de la común posesión de las propiedades esenciales que hacen a los seres ser árboles o animales o seres humanos. Esto aportará esa visión diferenciada y cualitativa del cosmos. En esta distribución categorial, Aristóteles establecerá una distinción básica, pues para él, *"unos seres serán por naturaleza y otros por otras causas"*. La primera división se establece entre seres naturales y seres artificiales. Para Aristóteles, la ciencia base será la biología por ser la ciencia que estudia los seres naturales.
2. Podemos, en función de la atribución de existencia o de propiedad, explicar el cambio y la transformación de las cosas. Sin duda, si algo pierde alguna propiedad esencial, dejará de ser lo que era, pero pasará a ser algo que potencialmente podía ser. Pero si lo que se altera es una propiedad accidental, la cosa seguirá siendo la misma, aunque algo en ella habrá cambiado.

Aristóteles soluciona así la paradoja de Parménides, aunque nada deja de ser, sí puede llegar a ser algo distinto a lo que era.

Visto así, la filosofía griega es:

- La explicación de la diferencia.
- Recurre a la sustancia, a lo que está por debajo, para explicar lo aparente. El verdadero objeto de la ciencia son esas formas esenciales que soportan el devenir de las cosas. Por eso, toda explicación en último término recae en la sustancia.
- El movimiento como fenómeno no se puede explicar separado del móvil.
 - No es el mismo movimiento el de un astro que el de un ser vivo que crece.
 - Esto será sustituido posteriormente en la física de Galileo.
- La filosofía griega es profundamente realista, considera que:
 - El mundo tiene una estructura fija y estable.
 - Puede conocerse en función de las formas de las sustancias
 - La verdad es la correspondencia entre el pensamiento y la realidad.

El realismo, como vimos en Parménides, contiene otro problema: ¿por qué vemos lo que no es? Aristóteles lo solucionó apelando a esa división entre lo esencial y lo accidental, entre ser en acto y ser en potencia.

Este mundo organicista de partes diferenciadas, arrastrará una serie de prejuicios y preconcepciones que influirán decisivamente en la imagen resultante del mundo. Estos elementos no científicos, pero que dirigen en gran medida la mirada científica, determinarán la cosmología griega.

Por ejemplo,

- Arriba es el lugar de lo más perfecto, puesto que los astros son los cuerpos más perfectos están arriba.
- Lo más perfecto se compone de aire y fuego.
- Contrariamente, abajo es el lugar de lo compuesto de tierra y agua.

- Como lo más perfecto son los astros se les puede aplicar la geometría euclídea. Así se moverán en círculos perfectos y con un movimiento regular. Pues a lo perfecto le corresponde lo perfecto y el círculo por su condición de figura ilimitada, pero finita, es la más perfecta de las figuras geométricas.
- Naturalmente, la Tierra es el centro del Universo y, aunque hay teorías griegas heliocéntricas

Materiales Complementarios

Algunas definiciones de los conceptos teóricos en la Física de Aristóteles

Naturaleza: La naturaleza se entiende así, a saber, la primera materia sujeto de cada ser, que posee en sí misma el principio de movimiento y del cambio. En otro sentido, en cambio, es la forma y la esencia, que entra a formar parte de la definición.[..] Por lo cual en otro sentido, la naturaleza podría ser la figura y la forma de aquellos seres, que tienen en sí mismo el principio del movimiento y del cambio. (Física 193a/194b).

Causa: Se llama causa a aquello a partir de lo cual algo se hace y produce, de manera que permanece en el ser producido como inmanente... En otro sentido, es causa aquello de donde proviene el primer principio del cambio o del reposo...Finalmente, lo es también lo que tiene razón de fin. Y esto es la causa final (194b/195a).

Movimiento: El movimiento no existe fuera de las cosas, pues todo lo que cambia, o bien cambia en el orden de la sustancia, o en el de la cantidad, o en el de la cualidad o en el del lugar (200b/201a).

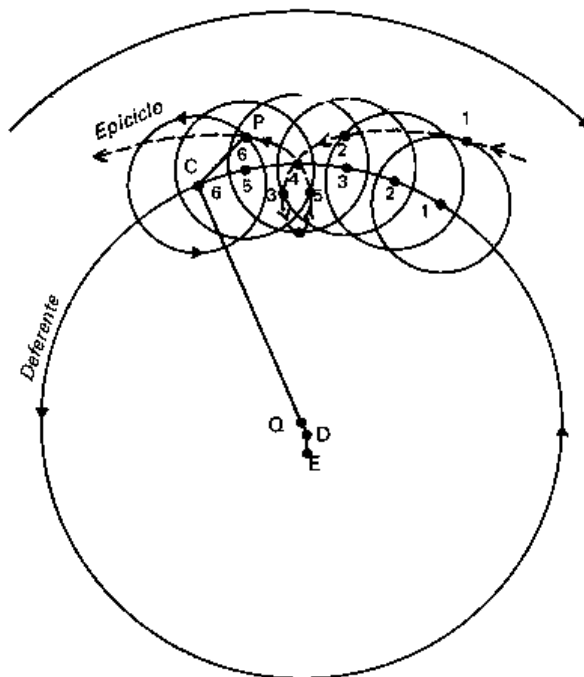
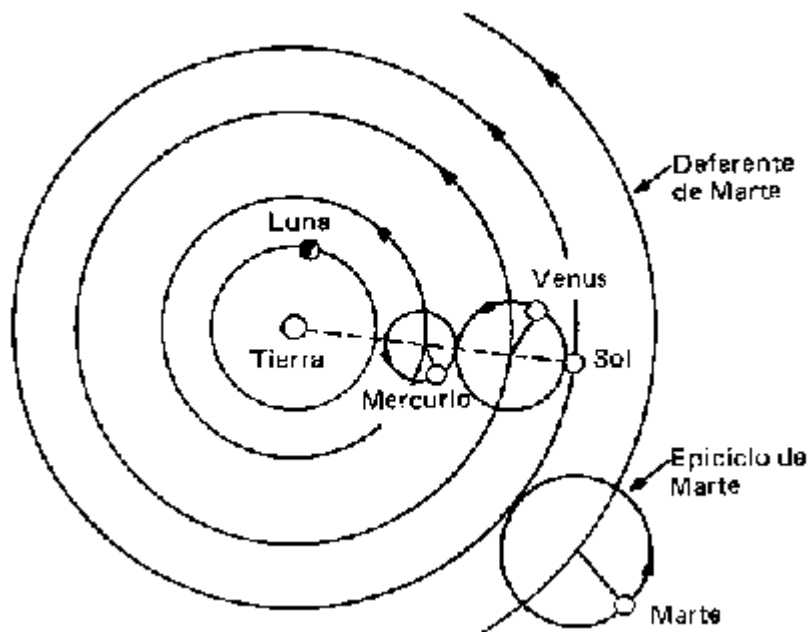
El acto de aquello que existe en potencia precisamente en cuanto tal potencia, es el movimiento (200b/201a)

Lugar: Es imposible que el lugar sea un cuerpo, pues habría dos cuerpos en un mismo sitio (208b/209a). El lugar es el límite externo del cuerpo envolvente...Y entiendo por cuerpo envuelto o contenido todo aquel que es móvil, con un movimiento de traslación. El lugar es el límite inmóvil primero e inmediato del continente.

Tiempo: El tiempo no existe sin el cambio... El número del movimiento según el anterior-posterior es el tiempo, siendo el tiempo lo numerado, no el medio de contar (218b/219a)

La Cosmología Griega

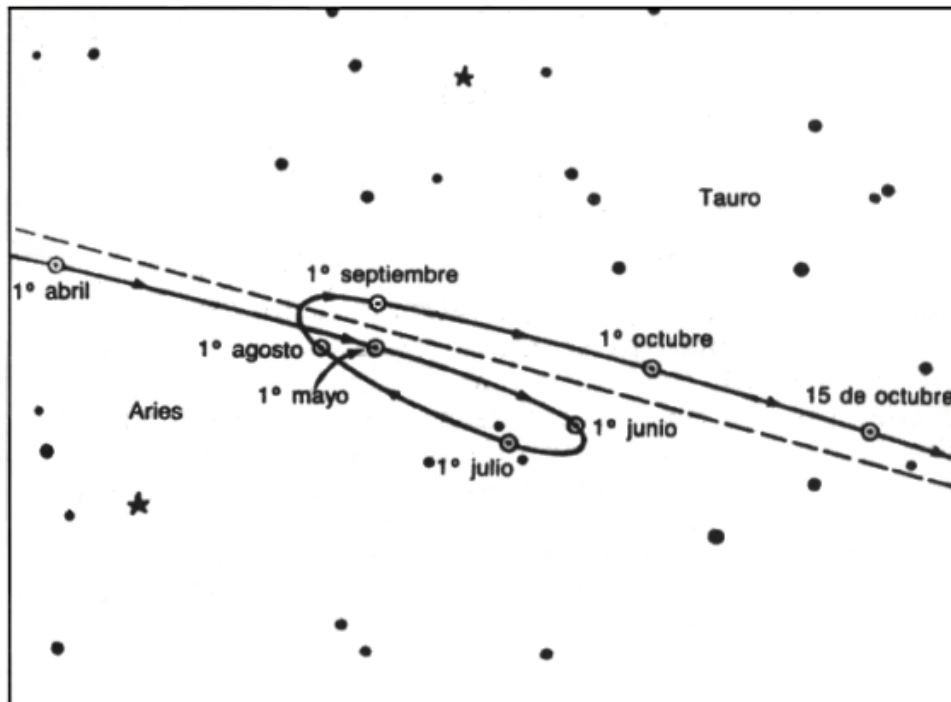
A Partir de la cosmología aristotélica, Ptolomeo (s. II a.C.) desarrolló una completa y compleja astronomía que estuvo vigente hasta la obra de Copérnico, Galileo o Kepler. La teoría ptolemaica mantenía los presupuestos de órbitas circulares, la distribución del arriba y del abajo y "salvaba los fenómenos observables" mediante complejos epiciclos y ecuantes. El epiciclo era el movimiento del planeta sobre un centro, que se movía alrededor de un centro deferente, que no coincidía tampoco con el centro de la Tierra. El deferente se movía, a su vez sobre otro centro distinto que era el ecuante.



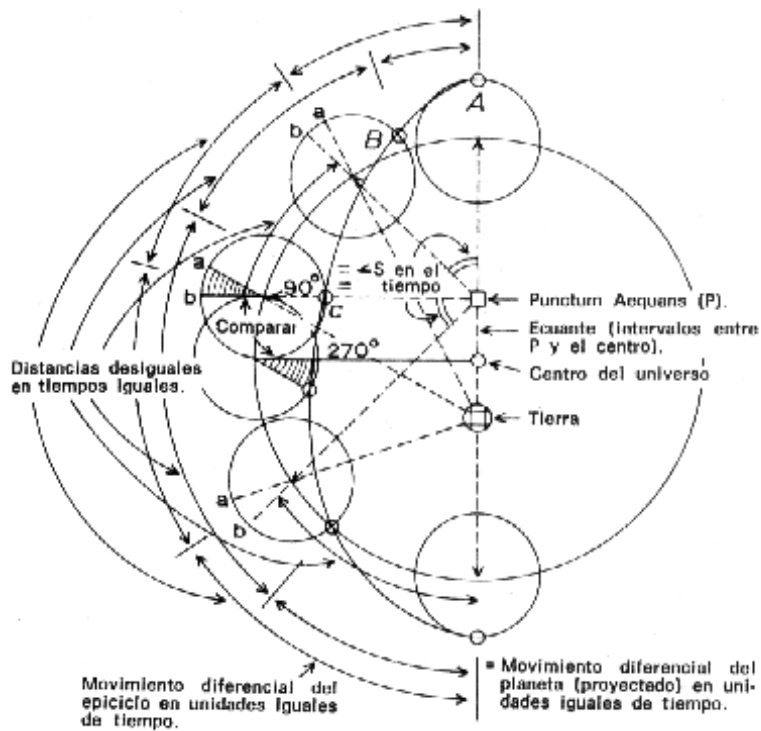
De esta manera se solucionaba un problema que dio muchos quebraderos de cabeza a los astrónomos y que se conoce como "el fenómeno de la retrogradación de Marte" (aparentemente, Marte parecía retroceder en su trayectoria).

Retrogradación de Marte. Un ejemplo de la aparente retrogradación de marte visto contra el fondo de las estrellas fijas (*fuentes: T. S. Kuhn, La revolución Copérmicana*)

La siguiente figura representa estos conceptos. Lo más interesante es advertir esa estrategia científica, incluida ya en el modelo de racionalidad parmenídeo, que exige explicar lo observable mediante algo no observable.



El sistema Ptolemaico: La trayectoria irregular del planeta alrededor de la eclíptica, visto desde la Tierra, se obtiene suponiendo que mientras el planeta se mueve alrededor del centro del epiciclo, éste se mueve alrededor del círculo deferente centrado en el Ecuante, que no es el mismo que el del centro de la Tierra o del Universo. El resultado es que el planeta se mueve en su epiciclo a velocidades no constantes, aunque se presente como un cuerpo en movimiento uniforme y circular sobre un epiciclo cuyo movimiento diferencial es variable. (Fuente: N. R. Hanson, *Constelaciones y Conjeturas*, Alianza, Madrid, 1978)



La Revolución Copernicana: El Universo como Mecanismo

A comienzos de la edad moderna, las sociedades occidentales experimentan una profunda transformación debido a la aparición de la ciencia moderna. Entre los siglos XV y XVII, se produce la más importante revolución conceptual que podemos encontrar en la historia. Sus autores son una serie de científicos que modifican por completo la racionalidad occidental: Copérnico, Galileo, Ticho Brahe, Kepler, Descartes, Leibniz y, finalmente, la figura de Newton como sistematizador de todas las nuevas ideas científicas del momento. Es de tal magnitud la transformación en la manera de mirar la naturaleza, de ordenar el caos, por lo que frecuentemente hablamos para referirnos a este momento de la historia de la Ciencia de *Revolución Copernicana*. Dos son las claves de esta revolución:

1. El cambio del sistema de referencia de la Tierra al sol: el Heliocentrismo.
2. Las matemáticas como el lenguaje de la naturaleza. Las matemáticas se convierten en el marco conceptual necesario para organizar la experiencia física del mundo.

La Astronomía y la Mecánica Racional son las ciencias que lideran esta revolución. Tres son los axiomas de la nueva ciencia:

- (1) El orden de la naturaleza es fijo y estable y la mente del hombre adquiere dominio sobre él, razonando sobre principios del entendimiento que son igualmente fijos y estables.
- (2) La materia es esencialmente inerte y la fuente de actividad es una mente o conciencia.
- (3) El conocimiento geométrico proporciona un vasto patrón de certeza absoluta respecto al cual deben ser juzgadas todas las restantes pretensiones de conocimiento.

La Revolución Copernicana: El Heliocentrismo

Nicolás Copérnico (1473-1543) publicó en 1540 su obra *Seis libros sobre las revoluciones de los orbes celestes*. Fue una obra casi póstuma, pues por distintas razones Copérnico fue muy reticente a publicarla. El miedo a la inquisición y cierta inseguridad sobre su teoría produjeron en Copérnico una actitud fenomenalista, según la cual, su teoría se presentaba únicamente como una mejora de la astronomía Ptolemaica y no necesariamente como una descripción verdadera de la realidad del Universo. Antes, en 1530, había publicado *el Comentarolus*, que era un resumen de sus ideas principales sobre astronomía.

¿Qué contenían estos libros para que unos años más tarde fueran el centro de todas las polémicas religiosas y científicas que alteraron profundamente el orden establecido, que llevaron a la hoguera a Giordano Bruno o que condenaron a Galileo en una de las peores políticas científicas y sociales de la Iglesia Católica?

Las tesis principales de la teoría copernicana son:

- (1) No hay más que un centro común de todas las órbitas celestes.
- (2) El centro de la Tierra no es el centro del Universo, sino solamente el de la gravedad de la esfera lunar.
- (3) Todas las órbitas giran alrededor del Sol, siendo éste el centro del Universo.
- (4) La distancia que separa la Tierra del Sol es insignificante comparada

- con la que separa a éste de la esfera de las estrellas fijas.
- (5) El movimiento común de los fenómenos celestes es debido no al movimiento del firmamento, sino al movimiento de la Tierra.
 - (6) El Sol es inmóvil y su movimiento aparente no es más que la proyección sobre el cielo de los movimientos de la Tierra.

El cambio del centro del sistema de referencia de la Tierra al Sol supuso dismantelar todo el sistema aristotélico, que hemos visto en el punto anterior. El Universo se vuelve infinito y homogéneo, la Tierra no es distinta de ningún otro planeta. Así mismo, el hombre pierde su posición privilegiada en la creación. La homogeneidad del Universo ya no permite utilizar la sustancia aristotélica como fuente de explicación científica, pues ya todo es igual. Habrá que recurrir a otra categoría explicativa. Ésta va a ser *la relación*. Las leyes, que se formulen para explicar los fenómenos naturales en función de la relación entre ellos, tendrán que ser leyes cuantitativas, y no cualitativas como en la física aristotélica.

El Universo se convierte ahora en una máquina dirigida por una estructura elemental: la relación de sus piezas. La ciencia base será la mecánica racional que poco a poco construyen Descartes, Galileo y culmina Newton.

Las ideas seminales de Copérnico se van a ir perfeccionando lentamente hasta que Newton en su *Sistema del Mundo* logra ofrecer una dinámica celeste que no sólo describe la estructura y funcionamiento de la maquinaria planetaria, sino que también ofrece una explicación del movimiento de los astros.

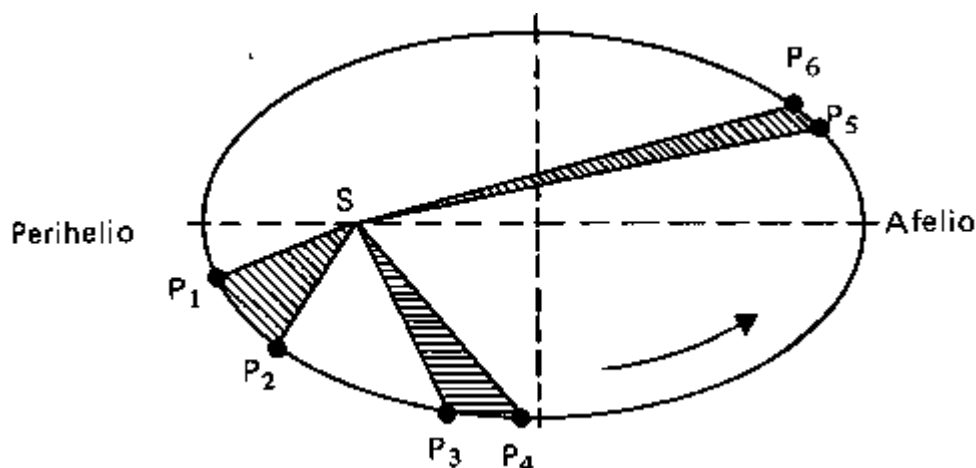
Los hitos en este proceso son:

- Copérnico mantiene las órbitas circulares, y aunque la astronomía copernicana simplificaba la ptolemaica, aún necesitó ciertos artificios geométricos para "*salvar los fenómenos*"[√]
- Ticho Brahe (1546-1601), astrónomo danés, aún rechazando el sistema heliocéntrico de Copérnico, elaboró tal cantidad de observaciones y datos precisos que facilitó el trabajo de Kepler.
- J. Kepler (1571-1630) sobre la base heliocéntrica de Copérnico, pero con los resultados observacionales de Ticho Brahe, compuso nuevas relaciones matemáticas que permitieron representar fielmente la forma de los movimientos planetarios. Su resultado fue el establecimiento de las órbitas elípticas y la elaboración de las leyes que dan cuenta de la mecánica celeste.
- Finalmente, Newton fue capaz de transformar la mecánica en dinámica, mediante el establecimiento de su ley de Gravitación Universal, que da razón del porqué de los movimientos celestes. Sin embargo, también en su noción de fuerza gravitacional a distancia está el germen del abandono de la teoría newtoniana un par de siglos después.

[√] Por salvar los fenómenos se entiende el esfuerzo científico de hacer que la teoría construida explique o de cuenta de lo que aparece a nuestra percepción, sea ésta más o menos perfeccionada.

Las Leyes de Kepler:

- 1) Los planetas describen órbitas elípticas alrededor del Sol, que ocupa uno de los focos de dichas elipses.
- 2) El radio vector que une a cada planeta con el Sol barre superficies iguales en tiempos iguales.
- 3) Los cuadrados de los tiempos de revolución de cada planeta por su órbita son proporcionales a los cubos de los semiejes mayores de la órbita respectiva.



(Imagen tomada de Holton, op. cit., pág.63)

La Mecánica Racional: El Universo como mecanismo

Las matemáticas en el mundo griego habían sido consideradas o bien como una forma del pensamiento adaptada al mundo de las ideas platónicas, o bien como el resultado de una abstracción realizada a partir de la experiencia sensible. Es verdad que las matemáticas habían constituido el modelo de racionalidad para pitagóricos y platónicos, pero dentro de una estructura mística-estética del Universo. No obstante, la investigación de la realidad física continuó realizándose desde las estructuras metafísicas del pensamiento aristotélico.

Además de la revolución astronómica, lo que se produce también, fundamentalmente con la obra de Galileo, es una revolución metodológica en el estudio de mundo físico, que generará una cosmovisión radicalmente distinta a la del mundo antiguo.

La mecánica es una ciencia racional, matemática, que tiene por objeto el estudio del movimiento local de los cuerpos. Por su forma es una ciencia teórica y, en este sentido, estudia entes creados por la razón; pero, por su contenido, puede considerarse una ciencia experimental, ya que versa sobre el movimiento que podemos encontrar en la experiencia sensible.

Como hemos visto, Aristóteles explicaba el movimiento no como algo en sí mismo, sino como una propiedad natural de las sustancias. El movimiento para Aristóteles no existía fuera de las cosas. Y eran sus naturalezas cualitativas y diferenciadoras las que imponían un tipo de explicación: los factores de la sustancia para que ésta se mueva. *El movimiento es un proceso* en el que se da algo que falta a quien le falta,

porque puede tenerlo.

En Aristóteles reposo y movimiento estaban diferenciados, siendo el reposo un estado de perfección, pues no carece de nada aquello que permanece en reposo. El problema para la física aristotélica era explicar el movimiento no natural, esto es, el movimiento del que no es causa la propia sustancia. El movimiento uniforme lo explicaba Aristóteles apelando a una fuerza continua, aunque de esta manera lo que se produce es un movimiento acelerado.

La adopción de la matemática como estructura de los fenómenos físicos, junto con las consecuencias producidas por el heliocentrismo, que Galileo defendió a pesar de la condena de la iglesia, van a alterar profundamente esta visión del movimiento clásico. Si la relación explicativa fundamental es la relación cuantitativa, el movimiento ahora va a desligarse del móvil, *va a convertirse en una relación entre un sistema de referencia fijo y un punto móvil*. Movimiento y reposo, por tanto, se unifican, siendo el reposo el grado cero de movimiento. El movimiento ya no es un proceso de una sustancia, sino el estado de los cuerpos. De esta manera, el Principio de Inercia se convierte en el principio de conservación que regula toda la estructura física. Aunque lo formula explícitamente Descartes: "*Todo cuerpo tiende a permanecer en su estado de movimiento uniforme rectilíneo o reposo a menos que una fuerza lo acelere o decelere*", no obstante, es la contribución fundamental de Galileo a la mecánica racional.

La segunda gran diferencia respecto a la física clásica va a ser qué se considera objeto de movimiento. En Aristóteles, era la materia lo que potencialmente podía recibir nuevas formas o actualizaciones de la forma. En la modernidad, el objeto de movimiento se obtiene del análisis de la propia materia. La materia tiene dos propiedades:

1. La resistencia a ser rayada, la dureza o la rigidez.
2. La resistencia que la materia opone a la fuerza que la mueve o que la retiene, según el principio de inercia.

La mecánica va a sustantivar esta segunda propiedad y la va a denominar *masa*. El móvil de la mecánica es la resistencia que la materia ofrece al movimiento. Esta noción de masa suscita la noción de *fuerza*, como aquello capaz de causar o modificar el movimiento. Aquí se puede establecer una relación matemática. Y de ahora en adelante estos conceptos bastarán para dar una explicación racional del comportamiento de la naturaleza física. La segunda Ley de Newton expresa correctamente esta relación: $f = m \cdot a$, *fuerza es igual a masa por aceleración*.

La cosmovisión del mundo ha cambiado en la medida en que ha cambiado el modo de interrogar a la naturaleza. A finales del siglo XVIII, la descripción del Universo está completa y matematizada.

El Mundo de la Física Clásica (finales XVIII)

El resultado final de toda esta revolución metodológica es una nueva visión del Universo homogéneo y determinista, donde la causalidad se ha reducido a la causalidad eficiente y en donde el tiempo es reversible. Resumidamente, las nuevas *creencias* que difunde la ciencia moderna son las siguientes:

- 1) El mundo está controlado: El mundo tiene un comportamiento fijo, estable y eterno, determinado por las leyes de la naturaleza que la ciencia ha descubierto.

2) Marco explicativo: existen unas leyes universales y necesarias que gobiernan el Cosmos. Estas leyes son deterministas y aceptan una causalidad única, esto se denomina *determinismo* y *monocausalismo*.

Dos principios expresan a la perfección esta relación reversible y determinista de la causa y el efecto y, en consecuencia, el conocimiento que del estudio de esta relación podemos obtener:

- *El Principio de Razón Suficiente: "No hay nada que ocurra sin una razón suficiente"*, expresado por Leibniz y que enuncia la equivalencia entre la causa plena y el efecto total.
- *El Principio de Laplace: "Así pues, hemos de considerar el estado actual del Universo como efecto de su estado anterior y como causa que ha de seguirle. Una inteligencia que en un momento dado conociera las fuerzas que animan a la naturaleza, así como la situación respectiva de los seres que la componen, si además fuera lo suficientemente amplia como para someter a análisis tales datos, podría abarcar en una sola fórmula los movimientos de los cuerpos más grandes del Universo y lo átomos más ligeros; nada le resultaría incierto y tanto el pasado como el futuro estarían presentes ante sus ojos" (P.S. de Laplace. Ensayo filosófico sobre las probabilidades, 1795)*

3) El Universo es homogéneo: El Universo es inerte y sólo una fuerza ejercida por contacto impone alguna actividad al mismo

- La materia, entendida como partículas materiales iguales (*masa*), no cambia: principios de conservación de la masa.
- La fuerza por contacto es lo único que puede convertirse en causa del movimiento de la materia. La fuerza igualmente se mantiene constante
- Espacio y tiempo como marcos absolutos donde no se pueden diferenciar lugares ni sucesos.
 - El tiempo y el espacio son entidades absolutas sin relación con los contenidos de la materia.
 - Reversibilidad: equivalencia esencial entre las dos direcciones del tiempo. El futuro será como el pasado.
- Movimiento = Reposo: principio de inercia.

4) Dualismo Mente/Materia: El Problema de la Libertad.

- El mundo es un gran mecanismo donde viven los espíritus libres. Si todo es efecto de una causa, ¿cómo puede mantenerse la idea de la libertad humana? Este va a ser uno de los problemas filosóficos característicos de la edad moderna, que va a llevar a numerosos autores a plantear un dualismo que se extiende igualmente al hombre. Así:
 - Mente: Causalidad libre.
 - Cuerpo: Causalidad necesaria.

De la Mecánica a la Dinámica: Electricidad, Magnetismo, Luz y Calor

Para finales del siglo XVIII, la mecánica newtoniana tal y como había sido matematizada y sistematizada por matemáticos franceses como Laplace o Lagrange se había constituido en la descripción verdadera del mundo. El propio Kant manifestó su seguridad en que el conocimiento físico pleno del mundo se había alcanzado después de la obra de Newton.

Como hemos visto, los recursos conceptuales de los que hacía uso la mecánica newtoniana eran las fuerzas que actuaban por contacto sobre partículas de masa. De esta manera, la propia fuerza de gravedad suponía una anomalía para la teoría, pues la fuerza de gravedad parecía actuar a distancia. Este problema se había superado postulando un espacio lleno de una sustancia muy sutil, a la que se le conocía con el nombre de éter. En gran medida, la física del siglo XIX fue una física del éter. Se quería, primero, demostrar experimentalmente su existencia y, después, estudiar su comportamiento. El asunto era importante, porque de lo contrario la teoría newtoniana empezaría a tener problemas.

Con la electricidad, el magnetismo, la luz y los efectos termodinámicos producidos por el calor, la física newtoniana se encontró con nuevos problemas que resultaron a la postre insalvables.

La inclusión de estos fenómenos en el ámbito científico provocó, en primer lugar, un esfuerzo por adaptar las teorías newtonianas para poder dar cuenta de ellos.

1. En este sentido encontramos, por ejemplo, la ley de Coulomb, que no es más que una adaptación de la ley de gravitación universal en el ámbito de la electricidad.
2. Pero esto parecía insuficiente. El segundo intento de prolongar la teoría newtoniana para dar cuenta de estos fenómenos fue la interpretación del espacio como *campo electromagnético*.

La Teoría del Campo

Fue un físico casi amateur, Michael Faraday, quien propuso la noción de campo como sede de las fuerzas eléctricas y magnéticas.

- El campo sustituye la capacidad de ejercer una fuerza (gravitacional, eléctrica, magnética...) de una partícula directamente (o a distancia, como en el caso de la gravedad) sobre otra por un estado especial en el espacio que rodea a la partícula y este campo afectaría a todo cuerpo que se introdujera en ese espacio.
 - Desde el punto de vista físico, el campo es un mediador de la interacción de las partículas,
 - Desde el punto de vista matemático, podemos hacer dos cosas:
 1. Calcular el campo creado por una partícula.
 2. Calcular el movimiento de una partícula en un campo dado.

La teoría del campo de Faraday se enfrentaba en gran medida a la concepción mecánica de la naturaleza de Newton. La concepción del campo de Faraday suponía:

- Eliminar de la partícula el origen de la fuerza.
- El campo aparecía dentro de una masa ponderable.
- Era la sede de las fuerzas, que pasó a ser la única sustancia física.
- El campo era dinámico.

Faraday, no obstante, no logró una definición clara de su nuevo concepto físico y además sus ideas se vieron comprometidas, cuando se comprobó en el primer cuarto del siglo XIX que los fenómenos de interferencia y movimiento de la luz admitían una explicación asombrosamente nítida, si se interpretaba la luz como un campo de ondas, o también, si se interpretaba el campo como las oscilaciones mecánicas en un sólido elástico. Esto obligó a considerar un campo independiente de la materia. Y de nuevo, las miradas científicas buscaron el éter como la sustancia que llenase el campo, que sustituía al espacio vacío de Newton. Faraday se vio traicionado y así la investigación del campo como estados del éter podía estudiarse mecánicamente en el marco de la explicación newtoniana, sin demasiados problemas.

Finalmente

- Lorenz elaboró una teoría consistente del campo, pero que atentaba con un principio bien establecido de la mecánica: El Principio de Relatividad.
El Principio de Relatividad, ya enunciado por Galileo, afirma *la equivalencia de todos los sistemas de referencia para la formulación de las leyes de la naturaleza*
- La teoría de Lorenz privilegiaba el sistema de referencia del éter luminífero en reposo, lo que no era admisible. Parecía crucial determinar y verificar qué era el éter.
- El experimento de Michelson-Morley, que diseñado brillantemente para detectar el éter, dio un resultado negativo. El éter no existía y la visión del mundo que había construido Newton y sus sucesores dejaba de considerarse adecuada para la explicación del mundo que habitaba el hombre de comienzos del siglo XX.

Se requería una nueva teoría científica, tal vez un nuevo mundo, y eso vino de la mano de la teoría de la Relatividad de Einstein.

El Efecto de la Termodinámica:

El estudio de los fenómenos termodinámicos, que también se inicia en el siglo XIX, supone otro frente abierto que choca frontalmente contra la dinámica clásica. La razón fundamental es que ahora se contemplan ciertos procesos que se presentan claramente irreversibles.

El Universo termodinámico es el universo de la degradación, de la progresiva evolución hacia un estado de equilibrio definido por la uniformidad, la nivelación de toda diferencia. Aquí el pédulo (imagen icónica de la mecánica clásica) deja de ser perfecto y el rozamiento le condena irrevocablemente a la inmovilidad del equilibrio.

Los sistemas termodinámicos son sistemas suficientemente inestables que poseen un "horizonte temporal" más allá del cual no se les puede atribuir ninguna trayectoria determinada. A cualquier estado inicial determinado con una precisión finita dada corresponde un tiempo de evolución a partir del cual sólo podemos hablar del sistema en términos de probabilidades.

¿Cómo conjugar el universo termodinámico con el universo eterno e inerte de la física clásica?

El caso Boltzmann

El nacimiento de la termodinámica, en particular el concepto de **entropía** y la 2ª ley de la termodinámica formulada por Clausius[✓] introdujo en el ámbito científico, y en el natural en consecuencia, el tiempo, procesos irreversibles que quedaban indeterminados a partir del futuro que se abría al sistema.

La simetría del tiempo se había roto volviéndose a requerir la distinción aristotélica del antes y del después.

La entropía, como la propiedad del estado que es diferente al comienzo y al final de un posible proceso, rompía la homogeneidad del universo clásico e introducía un ánimo pesimista al científico. Estábamos abocados a una muerte térmica y además se perdía el control científico del universo.

Los principios de conservación de la dinámica clásica se veían traicionados ante la evolución temporal que introducía la noción de entropía.

[✓] Ningún cambio que tenga lugar en un sistema aislado puede tener como resultado una disminución de la entropía del sistema. O dicho de otra manera: La entropía del Universo crece hasta su máximo.

Boltzmann, anclado y fiel a la tradición dinámica, intentó comprender en términos dinámicos la irreversibilidad termodinámica, pero el propio principio de la causa plena y del efecto total en el que se funda la dinámica le va a llevar al fracaso, obligándole a concluir que no se puede atribuir ningún privilegio a las evoluciones que hacen crecer la entropía.

Boltzmann se vio llevado a la conclusión de que la irreversibilidad no remite a las leyes fundamentales de la naturaleza sino a nuestra forma grosera y macroscópica de describirla.

La estrategia de Boltzmann para poder reducir la termodinámica fenomenológica a la dinámica clásica fue afirmar la existencia de regiones relativamente pequeñas del universo (mundos) que se desvían significativamente del equilibrio térmico durante intervalos cortos de tiempo. Entre estos mundos, se encontrarán algunos de ellos cuyos estados son de probabilidad creciente (entropía creciente), con la misma frecuencia que otros cuyos estados tienen probabilidades decrecientes. Pero el Universo en su conjunto está en equilibrio y no se pueden distinguir las dos direcciones del tiempo.

En general, la estrategia fue sustituir la termodinámica por una mecánica estadística. La idea era expresar las propiedades no mecánicas de los gases como propiedades mecánicas de las moléculas que los componen. Como el número es muy grande se necesitaban métodos estadísticos.

Para ello se diferenció entre macroestados, los estados termodinámicos, y microestados, el estado de cada molécula. La hipótesis era afirmar que todos los microestados son igualmente probables.

Así, La entropía termodinámica quedó reducida a la probabilidad del macroestado que le corresponde, que es directamente proporcional al número de microestados que pertenecen a la clase del macroestado. La segunda ley queda traducida a:

- Un cambio que tienen lugar en un sistema aislado llevará muy probablemente a un estado de mayor o igual entropía.

Como 'muy probablemente' no es con certeza, también valdría:

- Tras muchísimos cambios, los decrementos de entropía son tan frecuentes como los incrementos.

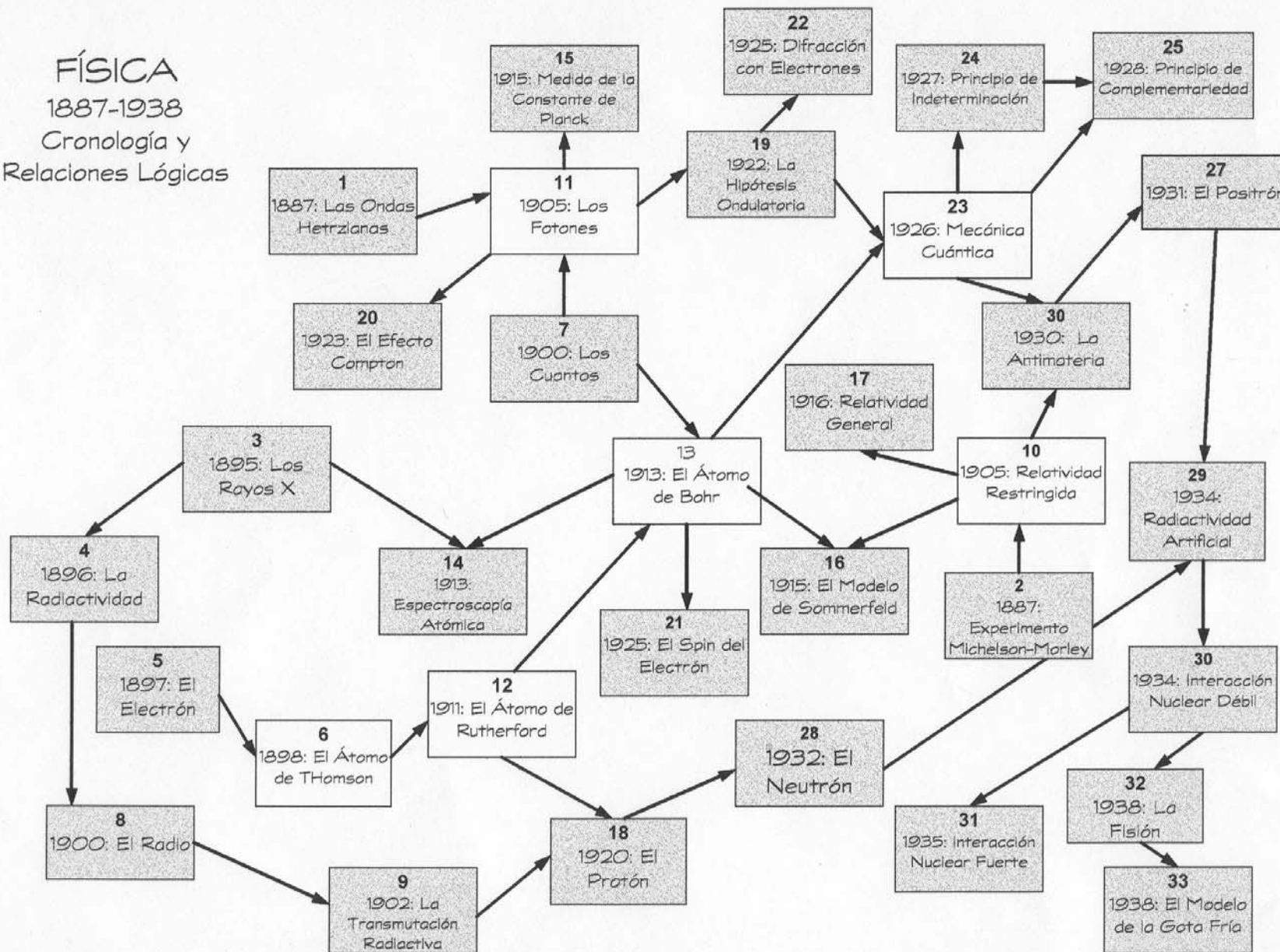
Sin embargo, la simetría del tiempo, la eternidad del mundo seguía chocando constantemente con la visión cotidiana. Pronto surgieron voces en contra de la ciencia a la que acusaban de haber dejado lo importante y lo significativo para el hombre sin explicar.

Bergson, Monod, Jacob, la entrada de la teoría de la evolución en biología e incluso en cosmología, el descubrimiento de estados de no-equilibrio, los sistemas no-lineales, etc. han llevado a la ciencia a replantearse aquella elección metafísica cuya fuente se remonta a Parménides y a indagar nuevas leyes o exigencias que den razón a los problemas del hombre en el tiempo.

Una nueva alianza, un nuevo modelo que no considere el indeterminismo y la temporalidad como un fracaso o como mera resignación ante nuestra incapacidad, sino que lo afronte con los nuevos medios que aportará la nueva ciencia...

FÍSICA

1887-1938
Cronología y Relaciones Lógicas



La Teoría de la Relatividad de A. Einstein

La física newtoniana había llegado a un callejón sin salida. Al final, el elemento que la soportaba, el éter, era inexistente. El mundo newtoniano no se verificaba experimentalmente. Hacía falta una nueva revolución científica, un planteamiento conceptual radicalmente distinto, eso vino de la mano de A. Einstein y su teoría de la relatividad especial. Aunque la teoría de la relatividad especial de Einstein se apoya notablemente en la teoría de Maxwell-Lorenz, hay algo completamente nuevo en ella. Los presupuestos de la relatividad especial son los siguientes:

- El efecto fotoeléctrico: la luz es a la vez un fenómeno corpuscular y ondulatorio.
- La velocidad de la luz, c , es constante: $v(a) + v(b) = v(x)$, pero $v(a) + c = c$.
- Rechazo del éter.
- Principio de Relatividad como ley universal: *“todos los cuerpos de referencia k, k' , etc. sea cual fuere su estado de movimiento, son equivalentes de cara a la descripción de la naturaleza.*
- Las transformaciones de Lorenz son las adecuadas para suprimir el campo magnético de los sistemas en movimiento, pero hay que redefinir las variables de espacio y tiempo.
- Para lograr que la velocidad de la luz sea constante en dos sistemas en movimiento relativo, es necesario atribuir diferentes longitudes y tiempos a cada sistema.

Los postulados de Einstein ofrecían una visión del mundo bastante contraintuitiva, a menudo opuesta a la percepción cotidiana. ¿Cómo es posible que el tiempo o el espacio varíen de un sistema a otro? *Los postulados teóricos* de la teoría de la relatividad especial son los siguientes.

- (1) Einstein sustituye el espacio y el tiempo absolutos de Newton por otros que permitan diferentes tiempos y distancias en sistemas diferentes. Ahora el tiempo y la distancia se definen de la siguiente manera:

Tiempo: la posición de la manilla pequeña de mi reloj.

Distancia: la distancia medida por una varilla perfectamente rígida.

- (2) Crítica al concepto de **simultaneidad**: si queremos conservar los principios de relatividad y de la constancia de la velocidad de la luz, hay que admitir:
 - Relojes que son síncronos en un sistema no lo son según relojes de otro sistema en movimiento relativo con el anterior.
 - Sucesos distantes que son simultáneos en un sistema no lo son en otros que estén en movimiento relativo.

Efectivamente las consecuencias teóricas que se deducen de estos dos principios son en muchos casos sorprendentes e incluso paradójicas. Éstas son:

- (1) Los efectos de contracción de la longitud, aumento de masa, etc, son exactamente iguales para los dos sistemas en movimiento relativo.
- (2) La regla rígida en movimiento es más corta en $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ que la misma regla en reposo, y es tanto más corta cuanto más rápidamente se mueva.
- (3) Si $v = c$ entonces $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 0$, luego:
- (4) La velocidad de la luz c adquiere el papel de velocidad límite. Nada en el Universo puede viajar a mayor velocidad que la de la luz.

- (5) Desde el cuerpo de referencia en reposo, en el reloj que se mueve con velocidad v respecto a ese cuerpo, dos señales de reloj no equivalen a 1 segundo sino a $\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ por lo que:
- (6) Efecto Doppler Transversal: la radiación procedente de una fuente en movimiento debe sufrir un desplazamiento hacia longitudes de onda más largas cuando la fuente se observa perpendicularmente a su movimiento.
- (7) La masa (inercial) no es una constante sino variable según la modificación de su energía: $e = mc^2$
- (8) En cada punto del espacio-tiempo tiene lugar un sólo suceso, aunque el punto y sus propiedades varían según el cuerpo de referencia. (formalismo de Minkowski).

Einstein generalizó en 1915 su teoría especial para poder abarcar sistemas de referencia no inerciales, esto es, que estén acelerados unos respecto de otros. Para lo cual, propone la consideración del campo gravitatorio que vendrá a sustituir al concepto clásico de fuerza de atracción. Esto supone identificar la masa inercial con la masa gravitatoria. **La teoría general de la relatividad** ofrece así una cosmovisión radicalmente nueva y nada evidente, al contrario parece evidentemente falsa. Sin embargo, a lo largo del tiempo, diversos experimentos han demostrado su validez y es hoy esta teoría la que nos ofrece una descripción adecuada del macromundo, es decir, del mundo de lo inmensamente grande, como es el Universo. Veamos esquemáticamente algunas de sus consecuencias:

- El espacio y el tiempo se funden en una estructura cuatridimensional: el espacio-tiempo, que toma una forma curva.
- El espacio-tiempo está curvado por la distribución de masa y energía presente en él.
- La gravedad no es una fuerza, sino una deformación del espacio-tiempo producida por su curvatura.
- El espacio euclídeo que se funda en el carácter rectilíneo del rayo luminoso, no tiene *a priori* ninguna razón para existir de manera absoluta.
- Concepción del Universo como finito e ilimitado.

Puesto que el rayo luminoso determina la curvatura del espacio y puesto que la distribución de las masas determina la curvatura de la luz, de la determinación de la cantidad de materia contenida en el Universo dependerá su forma y naturaleza. Esto motiva las ideas cosmológicas que se investigan en la actualidad:

El *Big Bang* se entiende como una singularidad que da origen al Universo en donde una explosión de una gran cantidad de masa produce el Mundo. La determinación de la cantidad de masa presente en el Universo es fundamental para establecer si el Universo se está expandiendo o si por el contrario se está contrayendo. En este último caso, se predice el final del mismo por una ruptura cuando la masa se vuelva a reunir (*Big Crunch*)

La Mecánica Cuántica: ¿Juega Dios a los Dados?

Hacia la Mecánica Cuántica (1er ¼ siglo XX)

- Aunque la teoría de la relatividad surgió para dar respuesta a ciertos problemas eléctricos y magnéticos, lo cierto es que termina siendo una teoría que explica otras cosas bien distintas y que todos estos problemas no quedan cubiertos por ésta.
- Adicionalmente, se comprobó la conexión existente entre los fenómenos eléctricos y magnéticos y ciertos fenómenos químicos, lo que demandó una teoría unificada de la electricidad y la materia.
- Esta unidad debía buscarse en la estructura de la materia misma, en la estructura del átomo que volvía al campo de la ciencia muchos siglos después de que Demócrito, un pensador presocrático, usara este concepto para describir lo irreductible de la materia.

Un índice de esta investigación a lo más profundo de la materia podría ser el siguiente, (lo más sorprendente es que la descripción final resultante de la materia no va a ser sólo una):

- Entre 1894-1897, J.J. Thompson descubre el electrón.
- En 1902, Lord Kelvin propone el primer modelo de la estructura del átomo (conocido como Modelo Thompson).
- Entre 1900-1910, se generan nuevos modelos del átomo y se obtienen importantes descubrimientos experimentales: radiactividad, tabla periódica.
- En 1900, Max Planck, al considerar el problema de la radiación del cuerpo negro (radiación emitida por cuerpos cuando son caldeados), reconsideró la interpretación de la luz como onda. Y produce el concepto de quanta.
Quanta: la luz es emitida y absorbida por la materia en cantidades discretas definidas.
- En 1905, Einstein enuncia el efecto fotoeléctrico, según el cual la luz se comporta como onda y como partícula.
- En 1913, Niels Bohr expone un nuevo modelo del átomo, que resultó incompleto.
- En 1923, De Broglie demuestra que las partículas materiales tienen propiedades de onda.
- En 1925, Dirac formula la mecánica cuántica como una teoría axiomática coherente, recogiendo el consejo de Heisenberg de atenerse exclusivamente a las posibilidades de medida que ofrecían las micropartículas.
- En 1926, Schrödinger expresa su ecuación de onda, que explicaba todos los fenómenos inexplicados por el modelo de Bohr, en términos de *función de onda*.

Con estos antecedentes y con una comprensión más o menos clara, aunque teórica, de la estructura del átomo, una nueva teoría va haciéndose un hueco en el esfuerzo por superar la mecánica clásica que se había mostrado incapaz de asumir estos fenómenos eléctricos, magnéticos y otros nuevos como los radiactivos.

La Mecánica Cuántica: La pérdida del determinismo

La **función de onda de Schrödinger** constituye el elemento explicativo clave de la mecánica cuántica.

- Esta función de onda de las partículas determina, en un instante, la probabilidad de que la partícula se encuentre en un punto.
- La función de onda determina entonces la distribución de probabilidades de contestar 'sí' ante alguna pregunta sobre alguna magnitud de un sistema.
- Esto significa que la acción de medir empaña la naturaleza ondulatoria de la partícula y pone de relieve sus propiedades de partícula.
- Esta es la situación más paradójica a la que nos aboca la nueva teoría. Si consideramos el aspecto ondulatorio de las partículas de materia, entonces sólo podemos indicar su comportamiento probable, pero ya no como onda, sino como partícula.

Imaginemos una situación simple.

- Clásicamente una partícula está determinada por su posición en el espacio y su velocidad (o momento[√]), en función de estos parámetros podemos conocer qué va a hacer a continuación.
- En mecánica cuántica, cada posición que la partícula puede tener es una *alternativa* disponible para ella.
- Cada alternativa se combina con una serie de pesos estadísticos. Aunque todas las alternativas son posibles, algunas son más probables que otras, es esto lo que expresa **el peso estadístico**.
- La colección de pesos estadísticos describe **el estado cuántico de la partícula**.
- Al relacionar estos pesos en función de la posición obtenemos *la función de onda* de la partícula, que para cada posición obtiene un valor específico.
- De esta manera, la interpretación más realista que podemos hacer de la teoría cuántica es afirmar que la realidad física de la localización de la partícula es su estado cuántico.

La mecánica cuántica es una ciencia esencialmente probabilística, es decir, sus leyes ya no son necesarias y deterministas, como lo habían sido hasta ahora a lo largo de la ciencia, sino que tiene que admitir que la acción observadora del hombre en el mundo impone una incertidumbre inevitable. Esta idea tan sorprendente para la ciencia se desarrolla en los otros dos principios fundamentales de la mecánica cuántica:

- Principio de Complementariedad de Bohr: la naturaleza de la observación determina el objeto -onda o partícula- observado.
- Principio de Indeterminación de Heisenberg: la posición y el momento de un cuerpo no se pueden determinar a la vez con una exactitud arbitraria.

Sin duda, esto supuso una nueva revolución conceptual en la manera en que el hombre se dirige a la naturaleza para comprenderla. De hecho, muchos científicos eminentes se negaron a aceptar esta visión de la mecánica cuántica, que se conoce como "La interpretación de Copenhague". Es significativo, por ejemplo, que siendo Einstein uno de los iniciadores de la teoría y el que diseñó una serie de conceptos sumamente importantes para la misma, no la aceptara nunca por su carácter probabilístico y para-

[√] El momento es la velocidad multiplicada por la masa de la partícula.

dójico. Es conocida su afirmación: *"Dios no puede jugar a los dados"*, que expresa muy bien el carácter realista de Einstein.

Sin embargo, la interpretación realista de la teoría, o la petición de la existencia de unas variables ocultas que, una vez conocidas, devolvieran a la física al ámbito del determinismo, como reivindicaba Einstein, parece que no podrían dar las probabilidades cuánticas correctas, según un famoso teorema formulado por J. Bell en 1989.

Algunas consecuencias de la mecánica cuántica son las siguientes:

- (1) Ruptura con el determinismo de la física clásica. Ahora, conocido el estado de un sistema atómico o subatómico en un momento dado, sólo podemos ofrecer la probabilidad de que el sistema evolucione en cierta dirección.
- (2) Una partícula es la suma de las potencialidades de medida contenidas en su función de onda. Luego los conceptos de partícula o corpúsculo y onda son complementarios.
- (3) El formalismo de la teoría es un instrumento para predecir los resultados de posibles medidas. No hay nada que corresponda a las entidades hipotéticas del formalismo. A lo sumo sólo podemos considerar la realidad física como lo descrito por el estado cuántico de un sistema. Esto impide una interpretación realista completa de la teoría.
- (4) No podemos hablar de lo que es, sino de lo que se puede encontrar.

En este sentido, son famosas las paradojas que arroja la teoría:

La paradoja de Einstein-Pokolsky-Rosen

Afirma que el acto de medida de un sistema cuántico altera o arrastra otro sistema, aunque esté a años luz de distancia.

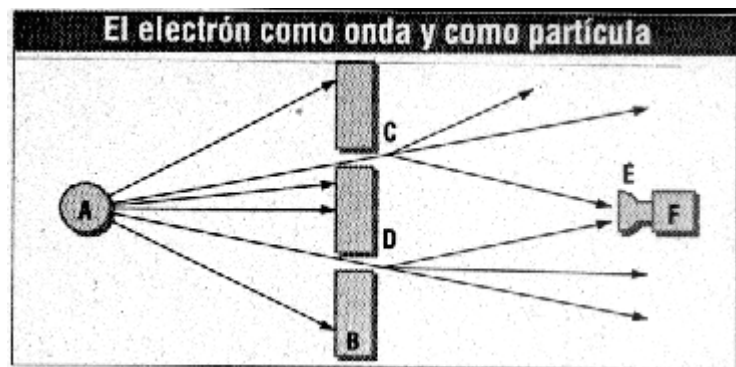
Pongamos un ejemplo más simple. Imaginemos que tenemos en una caja dos bolas, una es blanca y la otra negra, supongamos que las sacamos de la caja y sin mirarlas llevamos cada una a un rincón enfrentado de la habitación. Si comprobamos el color de una de ellas y es blanca, la otra inmediatamente, por la probabilidad del sistema, resulta ser negra. Pero, si, por el contrario la primera es negra, entonces, dado el estado incierto de la otra, inmediatamente cambia a blanca con certeza.

La Paradoja de Schrödinger



Es un experimento mental diseñado por E. Schrödinger. El experimento parte de un elemento radiactivo en el que un átomo tiene un 50% de probabilidades de emitir una partícula para transformarse en un átomo diferente (desintegración radiactiva) en un tiempo dado. Dentro de una caja se introduce un gato vivo y una ampolla de veneno, de tal forma que, si se produce la desintegración del átomo, un detector activa un mecanismo que rompe la ampolla, se expande el veneno y el gato muere. Según la teoría cuántica, la desintegración radiactiva ni sucede ni no sucede; *el gato ni está muerto ni está vivo*, sino que su estado cuántico es *ni vivo ni muerto* hasta que el observador mira dentro de la caja. "*Nada es real a menos que sea observado*".

Onda y Partícula.



Imaginamos la siguiente situación: A es un emisor de electrones, B es una pantalla opaca para ellos, pero C y D son dos aberturas por las que los electrones pueden atravesar la pantalla. E es un detector de electrones y F un dispositivo que emite un clic audible cada vez que E detecta un electrón. Con esta situación experimental podemos evaluar dos consecuencias de la mecánica cuántica.

1. La primera es que si los electrones son partículas, si tapamos el agujero D, la tasa de clics tiene que bajar, pues sólo los electrones que pasen por C serán detectados por E. Sin embargo, el resultado depende de la posición del detector, en unos puntos aumenta la cantidad de clics y en otros disminuye. Ello se debe a la naturaleza del electrón como onda. Cuando C y D están abiertos, el detector considera la suma de dos ondas, éstas a veces se suman y otras veces se cancelan una a otra. En el otro caso, la posibilidad de la cancelación se elimina y el ritmo de clics aumenta. En ambos casos, en el detector el electrón se comporta como una partícula.
2. La misma situación experimental produce un resultado paradójico. Si el emisor A emite un solo electrón y verificamos si pasa por C o por D, comprobaremos que pasa tanto por C como por D, de modo que debemos aceptar que la partícula está de hecho en dos lugares a la vez, ha pasado por las dos rendijas. La razón vuelve a ser la misma, lo que estamos realizando es una medida de posición sobre la partícula y, por lo tanto, su función de onda proporciona una distribución de probabilidades de su posición. Según esta medida los estados cuánticos del electrón se suman para obtener nuevos estados, utilizando los pesos probabilísticos. Logramos así una superposición de estados que se conoce como superposición lineal cuántica, cuando sólo hay dos estados la situación resulta enigmática. La regla general es que dos estados cualesquiera pueden coexistir en cualquier superposición lineal compleja, o dicho de otro modo, ¡cualquier partícula puede estar en dos lugares a la vez!

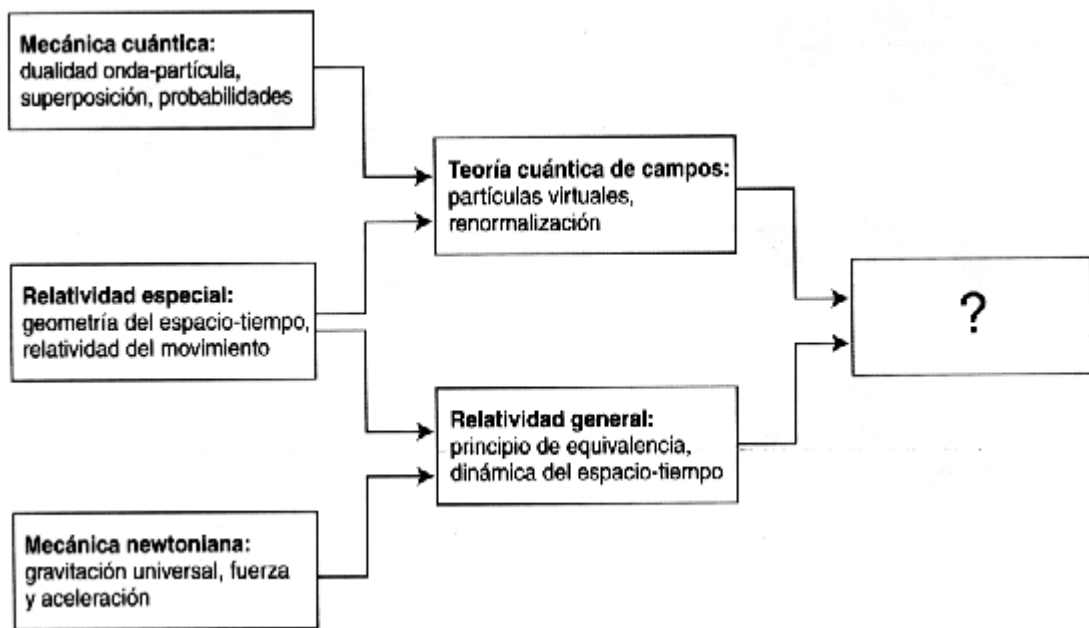
El mundo que nos ofrece la ciencia actual

Hoy la física se encuentra en un estado de división tal que ha sido incapaz de renovar la cosmovisión newtoniana y, en muchos casos aún aristotélica, con la que cotidianamente comprendemos el mundo que habitamos. La ciencia contemporánea no ha sido capaz de difundir una imagen del mundo que arraigue en la sociedad. No sólo se debe a las dificultades para comprender las complejas teorías científicas por parte del no especialista, también, en gran medida, se debe a que la imagen del mundo que arrojan es tan extraña y paradójica, que resulta inadmisibles para una existencia convencional. Sin embargo, las posibilidades tecnológicas que abren estas teorías están transformando el mundo sin que comprendamos bien hacia donde nos dirigimos. Esto es, naturalmente, peligroso.

Veamos esquemáticamente el mundo que nos ofrece la ciencia contemporánea:

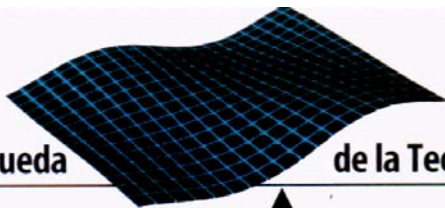
- (1) Ya no hay sólo un mundo, sino que los mundos son interpretables a escala: micro, macro, mesocosmos... donde la imagen del mundo que ofrece la teoría científica para una escala, resulta contradictoria y paradójica en otra distinta. Por ejemplo, muchas afirmaciones de la mecánica cuántica son inaceptables para nuestro mundo cotidiano e, incluso, para la teoría de la relatividad.
- (2) Imposibilidad de unificar conceptos comunes como el de fuerza
 - fuerza gravitacional.
 - fuerza electromagnética.
 - fuerza débil: la que mantiene unida los núcleos.
 - fuerza fuerte: desintegraciones radiactivas.
- (3) Carácter histórico del Universo y la necesidad de la ciencia de integrar nociones de tiempo y azar, de volver a introducir el caos en el orden que la ciencia ha deseado encontrar siempre en el Universo.
- (4) Avance extraordinario de la tecnología, permitida por el tipo de interpretaciones cuánticas instrumentalistas de la ciencia.
- (5) La tecnología seduce a una sociedad que, desconociendo el mundo que describe la ciencia y su método, convierte a la tecnología en ideología de legitimación social.
- (6) Extraña mezcla entre el creciente pensamiento de que el mundo occidental debe cambiar su concepción de la racionalidad por parte de la ciencia y, sin embargo esta racionalidad técnica sigue manteniéndose y dirigiendo el mundo social e industrial.

Efectivamente, en gran medida, la cosmovisión científica del mundo actual no llega a la sociedad. Pero debido a la tecnología, que crea mundos artificiales, pensamos que el mundo está controlado o en curso de un control y dominio total por parte de la ciencia. Como vemos, esto no es ni mucho menos así, sino que la física actual se encuentra con un problema grave de unificación, como el siguiente gráfico intenta reflejar.



Después de 2000
1990
1980
1970
1960
1950
1940
1930
1920
1910
Antes de 1910

Cuatro caminos en la búsqueda de la Teoría Universal



El sueño de la teoría de campos unificada
Desde hace décadas, los físicos buscan una teoría que aúne las cuatro fuerzas naturales con las partículas elementales, como manifestación de una única fuerza primigenia. La teoría que en la actualidad se aproxima más a ese sueño es la de membranas, que deriva de la teoría de cuerdas. Según dicha teoría, las partículas no son meros puntos sin estructura interna, sino pequeños lazos pluridimensionales que oscilan. Es la física del siglo XXI, que, casualmente, nació en el siglo XX.

Teoría de cuerdas y membranas
Años 80. Fracasan los experimentos sobre desintegración de protones que predecía la teoría de gran unificación (TGU). Es necesario ampliar las investigaciones.

John Schwarz
1984. Con sus ensayos para unificar la gravedad con las otras fuerzas, ha reavivado la teoría de cuerdas.

Sheldon Glashow, Howard Georgi y otros
Años 70. Hallaron un camino para aunar tres de las cuatro fuerzas en una teoría de gran unificación (TGU).

Frank Wilczek, David Gross y David Politzer. Años 70.

Carlo Rubbia
1983. Descubrió la existencia de unas partículas llamadas *bosones W- y Z*, que actúan como transmisores de la interacción débil.

Oscar Greenberg y Yoichiro Nambu
1964/65. Descubrieron que los quarks aparecen en diferentes combinaciones (llamadas colores o sabores).

Demostaron que la interacción fuerte aumenta, paradójicamente, con la distancia.

Stephen Hawking
1974. Aúna la teoría de los agujeros negros con la termodinámica.

Murray Gell-Mann y George Zweig. 1964. Demostraron que los protones y los neutrones están compuestos por partículas aún menores, a los que llamaron quarks.



Steven Weinberg, Abdus Salam y Sheldon Glashow
Años 60. Postularon la existencia de una fuerza débil unificada y una fuerza electromagnética, denominada «fuerza electromagnética débil».

Gerard 't'Hooft. 1971. Halló la forma de eliminar los valores infinitos problemáticos que manejaba la teoría electromagnética débil.

Maarten Schmidt. 1963. Descubrió que los cuásares son fuentes de energía.

Richard Feynman, Julian Schwinger, Sin'itiro Tomanaga y Freeman Dyson
Años 40. Demostraron cómo suprimir los términos infinitos perturbadores en las fórmulas de la electrodinámica cuántica.



Enrico Fermi y Wolfgang Pauli
Años 30. Postularon la existencia de los neutrinos, originados por la desintegración radiactiva beta.



4 Interacción débil. Años 30. Las investigaciones sobre radiactividad hallan una fuerza muy débil que ayuda a descomponer el núcleo de los átomos.

Paul Dirac y otros. Años 20. Reformularon el electromagnetismo y lo llamaron electrodinámica cuántica.



Edwin Hubble
1929. Descubre la expansión del universo.



Albert Einstein
1907-1915. Con la relatividad general describe la gravedad como la curvatura del espacio-tiempo.



Isaac Newton
1687. Describe la gravedad como una fuerza que provoca la atracción de las masas.



Galileo Galilei
1600. Hace los primeros ensayos sobre la gravedad.



3 Interacción fuerte
Años 20. Los físicos llegan a la conclusión de que, junto a la gravedad y el electromagnetismo, tenía que haber una fuerza que mantuviera unidos los núcleos de los átomos.

TEORÍA CUÁNTICA

James Clerk Maxwell
1864. Aunó la electricidad y el magnetismo en una única fuerza: el electromagnetismo.



Michael Faraday y Hans C. Oerstad. 1820-1831. Demuestran que el magnetismo induce electricidad y viceversa.



2 Electromagnetismo
Es el responsable de que fluya la electricidad, luzcan las lámparas y ocurran determinadas reacciones químicas.

1 Fuerza de la gravedad
Es la causa de que las masas se atraigan entre sí. Determina las órbitas de los planetas y la estructura del universo.

Transición a un mundo en evolución, temporal e indeterminista

En nuestro presente podemos encontrar tres periodos en la historia cercana que van a generar, desde la ciencia, una cosmovisión del mundo en evolución e indeterminista. Estos periodos podemos concretarlos en:

- (1) Elaboración de los grandes esquemas conceptuales vigentes:
 - Relatividad especial y general.
 - Mecánica Cuántica.

Aunque estos esquemas mantienen la tradición clásica: 'Descubrir, más allá de los fenómenos, la transparencia de un mundo racional'; hay tres elementos que rompen esta continuidad e introducen ciertas limitaciones insalvables al conocimiento del mundo:

- a) La constante **c** de la velocidad de la luz: El universo de Einstein no remite a un punto de vista único. Está poblado de observadores situados en sistemas de referencia en movimiento unos respecto de otros; la objetividad sólo puede surgir intercambiando información. Pero tal intercambio está limitado a la condición que impone la velocidad de la luz. Existe un transcurrir límite insuperable.
 - b) La constante **h** de Planck, que liga los aspectos corpusculares y ondulatorios del ente cuántico, lo que obliga a renunciar a la mitad de los predicados que permitían definir la partícula clásica. Nadie puede, en el universo cuántico, atribuir simultáneamente valores bien determinados a las variables que definían a la partícula clásica: posición y velocidad (Principio de indeterminación de Heisenberg)
 - c) La segunda ley de la termodinámica que enuncia una limitación en torno a la que se organiza la termodinámica, a saber, los procesos irreversibles escapan al control, en cuanto es imposible invertir el curso y recuperar las diferencias que han sido niveladas.
- (2) Serie de descubrimientos inesperados:
 - a) La inestabilidad de las partículas elementales y su complejidad: el mundo no escapa al tiempo, es un mundo activo, en cuyo seno constantemente se crean y desaparecen partículas.
 - b) El carácter histórico del Universo
 - c) El descubrimiento de las estructuras de no-equilibrio que invierten el dogma que asimilaba el crecimiento de la entropía con el desorden molecular.
- (3) Hoy ya no es necesario pensar los sucesos a los que debemos nuestra existencia situados fuera de las leyes de la Naturaleza. Pues las leyes actuales no se oponen a una verdadera evolución sino que permiten responder a las exigencias mínimas para pensar la evolución. Estas exigencias mínimas son:
 - a) La Irreversibilidad: la ruptura de la simetría entre el antes y el después.
 - b) La Noción de "suceso": Un suceso no puede ser deducido de una ley determinista. Implica que lo que se ha producido "hubiera podido" no producirse y, por ello, remite a posibles que ningún saber puede reducir. El modo inteligible de los posibles como tales y de los sucesos que deciden entre posibles es, por definición, la descripción probabilista.

Ahora bien, las leyes probabilistas, por sí mismas, no son todavía suficientes necesitamos la noción de historia, de narración: **el interés de la historia es que narra los sucesos portadores de sentido.**

"El dado sólo es un instrumento de un juego de azar, si realmente hay algo en juego" (I. Prigogine e Isabelle Stenger).

- c) Que algunos sucesos sean susceptibles de transformar el sentido de la evolución que desencadenan y, reciprocamente, que esta evolución se caracterice por mecanismos o relaciones susceptibles de dar sentido al suceso, de generar a partir de él nuevas coherencias.

Materiales Complementarios

PREGUNTA: ¿Ante dos haces de heno perfectamente iguales cuál de ellos elegiría el hambriento asno de Buridán?

RESPUESTA: Se moriría de hambre al no tener una razón para elegir uno u otro, pues son perfectamente indistinguibles.

Juan Buridán (1300-1358).

Principio de Razón Suficiente: "Nada ocurre sin que haya una razón por la que aquello haya de ser así más bien que de otra manera.

G.W. Leibniz. (1646-1716)

Principio de Laplace

Así pues, hemos de considerar el estado actual del Universo como efecto de su estado anterior y como la causa que ha de seguirle. Una inteligencia que en un momento dado conociera las fuerzas que animan a la naturaleza, así como la situación respectiva de los seres que la componen, si además fuera lo suficientemente amplia como para someter a análisis tales datos, podría abarcar en una sola fórmula los movimientos de los cuerpos más grandes del Universo y los átomos más ligeros; nada le resultaría incierto y tanto el pasado como el futuro estarían presentes ante sus ojos.

P-S. de Laplace. Ensayo Filosófico sobre las Probabilidades 1795.

Principio de Indeterminación de Heisenberg

La posición y el momento de una partícula no se pueden determinar a la vez con una exactitud arbitraria.

$$\Delta p \cdot \Delta m \equiv h / 2\pi$$

Siendo p = posición, m = momento y h = La constante de Planck

"Variables Ocultas" contra la Interpretación de Copenhague

"La mecánica Cuántica es muy impresionante. Pero una voz interior me dice que la verdadera cosa no está allí. La teoría produce mucho, pero no puede decirse que nos acerque al secreto del Viejo. En cualquier caso estoy convencido de que Él no juega a los dados". (A. Einstein. Carta a Max Born, 4-12-1926)

Tiempo-Entropía e Irreversibilidad

El problema termodinámico: Todas las formas de energía acabarán convirtiéndose en calor y el mundo alcanzará un equilibrio térmico del que nunca podrá salir. Esto haría al tiempo anisótropo.

"Tenemos que elegir entre dos tipos de representación. O bien suponemos que el Universo entero está en la hora actual en un estado muy improbable. O bien hacemos la hipótesis de que los eones que miden la duración de este estado improbable, y la distancia desde aquí a Sirio, son ínfimos comparados con la edad y las dimensiones del Universo entero. En un Universo semejante, que en conjunto está en equilibrio térmico, y por consiguiente muerto, se encontrarán aquí y allá regiones relativamente pequeñas, del tamaño de nuestra galaxia, regiones (que podemos llamar "mundos") que se desvían significativamente del equilibrio térmico durante intervalos cortos de estos "eones" de tiempo. Entre estos mundos, se encontrarán algunos cuyos estados son de probabilidad (es decir, entropía) creciente, con la misma frecuencia que otros cuyos estados tienen probabilidades decrecientes. En el seno del Universo en su conjunto, no se pueden distinguir las dos direcciones del tiempo de la misma manera que en el espacio no hay arriba ni abajo...Creo que esta manera de considerar las cosas es la única que nos permite comprender la validez de la segunda ley y la muerte térmica de cada mundo individual sin invocar un cambio unidireccional del Universo entero desde un estado inicial definido hacia un estado final.

(Boltzmann, segunda respuesta a E. Zermelo)

Hacia Una Ciencia del Tiempo y de la Complejidad

«Un suceso no puede, por definición, ser deducido por una ley determinista: implica, de una u otra manera, que lo que se ha producido "hubiera podido" no producirse y, por ello, remite a posibles que ningún saber puede reducir. El modo de inteligibilidad de los posibles como tales y de los sucesos que deciden entre estos posibles es, por definición, la descripción probabilista. No obstante, las leyes probabilistas, por sí mismas, no son todavía suficientes. Toda historia, toda narración supone sucesos, supone que se ha producido lo que hubiera podido no producirse, pero ella sólo tiene sentido si estos sucesos son portadores de sentido... **El dado sólo es instrumento de un juego de azar si realmente hay algo en juego.**

(I. Prigogine e Isabelle Stenger. Entre el tiempo y la eternidad. 1988)