



GRANDES COSMOVISIONES CIENTÍFICAS

1. COSMOVISIONES

2. LAS PRIMERAS COSMOVISIONES CIENTÍFICAS

3. LA COSMOVISIÓN ARISTOTÉLICA

- 3.1. TELEOLOGÍA FRENTE A MECANICISMO
- 3.2. EL UNIVERSO ARISTOTÉLICO

4. LA COSMOVISIÓN MODERNA

- 4.1. LA REVOLUCIÓN COPERNICANA
- 4.2. LA NUEVA FÍSICA
- 4.3. CARACTERÍSTICAS DE LA COSMOVISIÓN MODERNA

5. LAS COSMOVISIONES CONTEMPORÁNEAS

- 5.1. EL UNIVERSO SEGÚN EINSTEIN
- 5.2. LA GRAN EXPLOSIÓN
- 5.3. EL UNIVERSO CUÁNTICO
- 5.4. LA TEORÍA DEL CAOS

1. COSMOVISIONES

La curiosidad y la capacidad de asombro del ser humano lo ha llevado a lo largo del tiempo a intentar conocer el cosmos. Ya lo decía Aristóteles:

*“Pues los hombres comienzan y comenzaron siempre a filosofar movidos por la admiración; al principio admirados ante los fenómenos sorprendentes más comunes; luego avanzando poco a poco y planteándose problemas mayores, como los cambios de la luna y los relativos a sol y a las estrellas, y la generación del universo.” [Aristóteles: **Metafísica** I, 2, 982b]*

No podemos evitar este impulso y el intento de **representarnos el universo en su totalidad**. Justamente esto es una **cosmovisión**. En un sentido amplio, damos el nombre de **cosmovisión a toda interpretación de la realidad que constituya una forma coherente y sistemática de ver y comprender el cosmos**. El término “**cosmovisión**” procede de la traducción de un concepto acuñado por el filósofo Dilthey: **Weltanschauung**.

La ciencia y la filosofía han intentado dar respuestas a porqué ocurren los fenómenos y cuáles son sus causas. Las respuestas dadas generan una imagen del universo que intenta ser coherente. Cuando quedan determinados los componentes esenciales de la realidad como las leyes que la rigen, ya sí podemos considerar estas explicaciones más o menos sistematizadas como cosmovisiones científicas.

En la formación de una cosmovisión científica intervienen las teorías propias de las siguientes disciplinas científicas:

- **La astronomía:** Se ocupa de estudiar las posiciones de los astros y las leyes que rigen sus movimientos.
- **La cosmología:** Parte de la astronomía que trata sobre las leyes generales que explican el origen y el desarrollo del universo.
- **La física:** Estudia las propiedades de la energía y la materia, así como el tiempo, el espacio y las interacciones que tienen entre sí y es una ciencia fundamental para la comprensión del universo.

A lo largo de la historia podemos distinguir tres grandes cosmovisiones:

- **Cosmovisiones antiguas:** Incluyen todas aquellas explicaciones de la realidad que surgieron en Grecia en el siglo VI a.C. con los primeros filósofos presocráticos, Aristóteles y que culminaron

con la espléndida ciencia helenística, de la que Claudio Ptolomeo fue el último gran astrónomo (siglo II d.C.)

- **Cosmovisión moderna:** Se corresponde con la revolución científica en los siglos XVI y XVII, gracias a las aportaciones de Copérnico, Giordano Bruno, Tycho Brahe, Johannes Kepler, Galileo Galilei, René Descartes, Christian Huygens y finalmente Isaac Newton.
- **Cosmovisiones contemporáneas:** Es el conjunto de teorías sobre visión del mundo aceptadas en la actualidad por la comunidad científica; surgieron a partir de la crisis de las geometrías no euclidianas y de la física a partir del siglo XIX. La teoría de la relatividad, la mecánica cuántica, y las contemporáneas cosmología y astrofísica, son los hitos de la cosmovisión actual.

Pero, ¿**POR QUÉ Y CÓMO CAMBIAN LAS COSMOVISIONES CIENTÍFICAS?** La respuesta a esta pregunta podemos encontrarla en la **teoría de las revoluciones científicas** de **THOMAS KUHN** en su obra **La estructura de las revoluciones científicas**, propone el concepto de **paradigma**, que es un **modelo total de explicación** de un grupo amplio de fenómenos, que incluyen métodos, presupuestos, leyes, etc. aceptado por una comunidad científica. Un ejemplo de paradigma serían la mecánica newtoniana, la teoría de la relatividad, etc.

Si comunidad de científicos trabaja sobre un paradigma comúnmente aceptado y sus realizaciones que están dentro de él, estamos en el momento de la llamada **ciencia normal**.

Cuando surge un **gran número de anomalías**, fenómenos que **no pueden ser explicado** de modo suficiente dentro del paradigma, la ciencia normal entra en **crisis**. En ese momento puede surgir otro **paradigma rival** que entre en conflicto con el anterior y que **trate de explicar las anomalías** que el anterior no puede resolver.

Si la comunidad científica **opta por el nuevo paradigma** sobreviene una **revolución científica**. Lo más llamativo de la tesis de Kuhn es que la elección de un paradigma u otro se produce más por motivos sociológicos y psicológicos que por motivos internos a la ciencia misma. Y, en conclusión: en la historia de la ciencia no hay progreso, sino revolución.

2. LAS PRIMERAS COSMOVISIONES CIENTÍFICAS

Las **primeras cosmovisiones fueron religiosas**, expresadas a través de **mitos**. Sin embargo, en **Jonia**, partir del siglo **VI a.C.**, frente al saber mítico, que encuentra las causas de todos los fenómenos en el capricho de los dioses, **va surgiendo otro tipo de saber, la filosofía**, que busca respuestas diferentes a las preguntas que el ser humano se ha hecho desde el principio de los tiempos.

A los **primeros filósofos**, los **presocráticos**, les interesó fundamentalmente la investigación sobre la **naturaleza- physis – Φύσις -**, de ahí que fueran conocidos con el nombre de **físicos** y, a casi todos ellos, se les atribuyó una obra cuyo nombre era: *Sobre la naturaleza - Περί Φύσεως -*, aunque de ellos solo se conservan fragmentos citados por autores posteriores como Platón, Aristóteles, Plutarco, Sexto Empírico...

Intentando ir **más allá de las explicaciones míticas**, trataron de averiguar cuál era el **arjé** (ἀρχή) o los **arjai** de la **physis**, o lo que es lo mismo, si existía un principio, elemento o causa común del que surgiera la pluralidad de los entes naturales.

La **preocupación cosmológica por la génesis y desarrollo del cosmos** en tanto que totalidad ordenada de la physis es la **clave fundamental de la filosofía presocrática**. Los múltiples dioses se transforman en alegoría de las fuerzas universales, pero la **physis** y los diversos **arjai** propuestos por los diferentes filósofos siguen conservando los predicados propios de la divinidad: eterno, inmortal, perfecto...

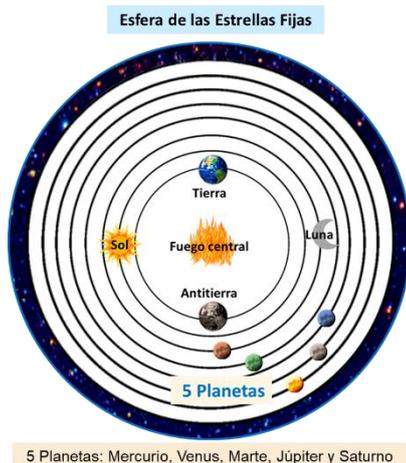
A los filósofos de la antigua Grecia les debemos las primeras cosmovisiones que pueden llamarse propiamente «científicas», por lo que pueden considerarse también los **primeros cosmólogos**. Algunas de estas primeras teorías responden a intuiciones geniales que, a pesar de un desarrollo inevitablemente imperfecto, acabaron teniendo una relevancia extraordinaria. Destacamos a los pitagóricos, a Anaxágoras y a los atomistas.

2.1. LOS PITAGÓRICOS Y EL UNIVERSO MATEMÁTICO

PITÁGORAS DE SAMOS (siglo VI a.C.) y los **PITAGÓRICOS** de su escuela consideraban que el *arjé* de la *physis* eran los **números**. Tanto el movimiento de los astros como las relaciones entre los sonidos, y la realidad entera, podían **expresarse en términos matemáticos**.

Con los pitagóricos **las matemáticas, la astronomía y la teoría musical experimentan un gran avance**. Fueron los **primeros en denominar al universo** con la palabra **cosmos**- κόσμος, "todo ordenado": **el universo es un conjunto ordenado cuya armonía se basa en los números, y puede conocerse, por tanto, gracias a las matemáticas**.

La cosmología pitagórica llegó a la conclusión de que el universo está formado por **ocho cuerpos celestes**:



La tierra, la luna, el sol y los cinco planetas conocidos (Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno), que giran en **órbitas circulares concéntricas** en torno al **fuego central** –«Trono de Zeus»–, situado en el **centro del universo**.

Si añadimos la **Esfera de las estrellas fijas** llegamos a nueve. Como faltaba un elemento para **alcanzar el valor diez de la Tetractys**, que representa lo divino y es un símbolo sagrado para los pitagóricos, **se añade** al sistema la **antiterra**, situada en la órbita más **interior**, en equilibrio con la tierra, alineada con ésta y con el fuego central y con el mismo período de revolución diaria que ella. El movimiento de las esferas celestes produce una maravillosa música que no oímos por estar habituados desde nuestro nacimiento.

2.2. ANAXÁGORAS Y LA INTELIGENCIA ORDENADORA



Para **ANAXÁGORAS DE CLAZOMENE** (500-428 aprox.) **el universo es racional, tiene un orden y una lógica que lo hacen accesible a nuestro conocimiento**; pero la materia que está compuesta de **semillas**, los *spermata*, y en el origen del cosmos era una única masa mezclada incapaz, al carecer de inteligencia, de ordenarse a sí misma. Por tanto, **tuvo que existir necesariamente una mente o inteligencia ordenadora: el Noús**.

Aunque Anaxágoras sólo **otorga al Nous la función de introducir el movimiento en el universo**, su idea tuvo **eco** en Sócrates; en Platón; en la filosofía cristiana (que la asoció con la del Dios creador de la Biblia); en algunos físicos modernos, como Newton, y en todas aquellas teorías que admiten la **hipótesis teísta** del origen del universo.

"El Nous gobierna todas las cosas que tienen vida, tanto las más grandes como las más pequeñas. El Nous gobernó también toda la rotación, de tal manera que comenzó a girar en el comienzo [...] Esta rotación hizo separarse las cosas. Lo denso se separa de lo raro, lo cálido de lo frío, lo brillante de lo tenebroso y lo seco de lo húmedo. Hay muchas porciones de muchas cosas, pero ninguna está separada ni dividida completamente de la otra, salvo el Nous"

2.3. LA COSMOVISIÓN ATOMISTA: MECANICISMO Y DETERMINISMO



Átomos, vacío y azar son los elementos que explican la *physis*

Los **atomistas** entendieron que el mundo físico se rige por unas **leyes "impersonales" que se cumplen ciegamente: mecanicismo**. Además, de modo necesario: **determinismo**. El universo es fruto del **azar**, no se debe al proyecto de ninguna inteligencia superior, ni tampoco a ninguna finalidad dentro de la propia naturaleza.

DEMÓCRITO, siglo V-IV a. C., cree que los *arjai de la physis* son los **átomos infinitos en número**. Carecen de cualidades sensibles, y sólo se diferencian entre sí por la figura, el orden y la posición. Poseen **movimiento propio y espontáneo** en todas las direcciones y chocan entre sí. En el choque pueden suceder dos cosas: o bien rebotan, o bien se unen dando lugar a los diferentes entes. Si la pluralidad se explica en virtud de los átomos, **el movimiento sólo puede explicarse si existe un espacio vacío** en el que se muevan. Dicho movimiento es mecánico y **azaroso**. **Átomos, vacío y azar son los elementos que explican la physis**.

La Tierra es uno de los **infinitos mundos que existen**, y, dado que el universo es infinitamente grande, hay infinitos mundos iguales al nuestro.

La cosmovisión atomista fue retomada, tras siglos de abandono, en la Edad Moderna, e inspiró la cosmovisión de esa época. Asimismo, la teoría atómica, sin la cual no puede entenderse la moderna química, fue retomada en el siglo XIX por John Dalton.

3. LA COSMOVISIÓN ARISTOTÉLICA

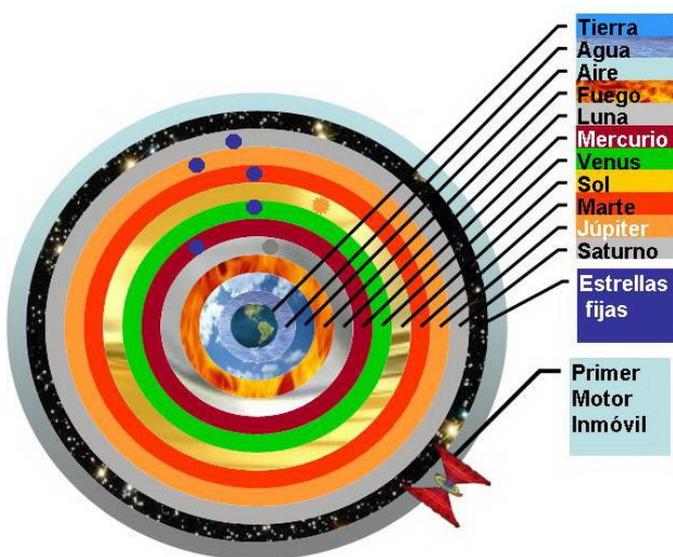
3.1. TELEOLOGÍA FRENTE A MECANICISMO



ARISTÓTELES de Estagira (384-322 a.C.) sostuvo una concepción muy distinta y muy crítica con respecto a Demócrito. En su opinión, afirmar que los átomos se mueven eternamente no proporciona una auténtica explicación del movimiento. **Rechazó el mecanicismo de Demócrito**, que daba cuenta de la realidad solo de modo incompleto, al explicarlo todo en razón de la causa eficiente (el agente que crea algo o provoca algún movimiento). Para Aristóteles, **sin el conocimiento de la causa final no existe una verdadera comprensión**. Esto es lo que se llama **finalismo o teleología**: Todos los seres buscan el fin que les viene dado por naturaleza, porque en él está su perfección y su bien.

Parte del principio según el cual: **"Todo lo que se mueve es movido por algo"**, y como afirma que no es posible remontarse hasta el infinito en la serie de motores, **debe existir un Primer Motor Inmóvil** sin mezcla de potencia él mismo porque, si se moviera, sólo podría hacerlo de la potencia al acto, lo cual nos induciría a pensar que ese Primer Motor no es perfecto, ya que sólo lo imperfecto necesita cambiar, desarrollar lo que es en potencia. Pero como el Primer Motor **debe ser perfecto**, ha de ser al mismo tiempo **puro Acto, y mover sin ser movido por otro**. El Primer Motor **tiene los caracteres de una divinidad: feliz, autosuficiente, perfecto**. Es definido también como **una inteligencia que se piensa a sí misma**.

3.2. EL UNIVERSO ARISTOTÉLICO



Aristóteles concibió su cosmovisión a partir del **sistema de esferas concéntricas ideado por Eudoxo de Cnido** (siglo IV a.C.). Adoptada posteriormente por el cristianismo y el islam, se mantuvo –con las mejoras del astrónomo alejandrino **Ptolomeo** (siglo II d.C.) – hasta ser sustituida por la teoría heliocéntrica de Copérnico.

Para Aristóteles el universo es un **cosmos**: un todo **ordenado, eterno, finito, simétrico y esférico**. Está constituido por dos mundos distintos: el **sublunar** y el **supralunar**. El **movimiento es común** a todas las sustancias del universo. Es **finito** y en él **no existe el vacío**. Además, está **organizado jerárquicamente**, a saber:

- Primero están los seres **inmateriales e inmóviles**: el Primer Motor y los motores inmóviles de las esferas.
- Luego los seres **materiales pero incorruptibles y eternos**: el primer cielo, las esferas de los astros los astros, todos ellos compuestos de **éter**.
- Por último, los **seres corruptibles**, compuestos de los **cuatro elementos**: Tierra Agua, Aire y Fuego.

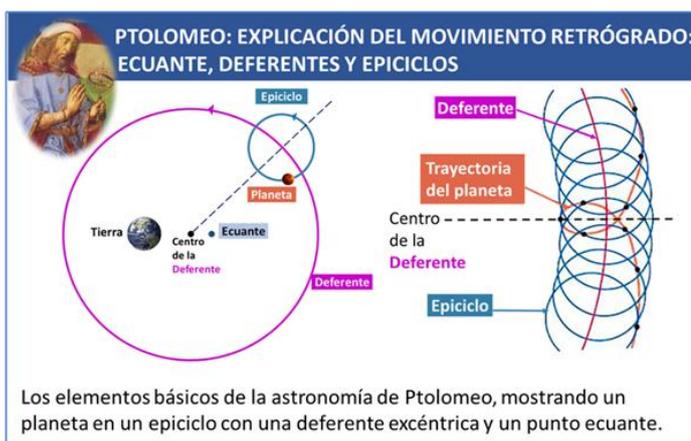
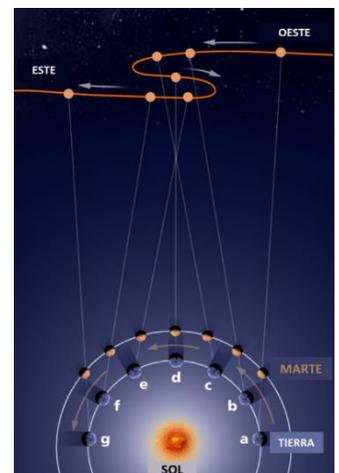
La **Tierra inmóvil** se sitúa en el **centro** del universo, alrededor de la cual **giran los astros** insertados en sus correspondientes **esferas de éter**. Aristóteles hubo de admitir un total de **56 esferas** para explicar el movimiento de los astros.

a) EL MUNDO SUB-LUNAR se caracteriza por la **generación y la corrupción**. Todas las sustancias de esta región están compuestas por **cuatro los elementos**, y sus diferencias dependen de la combinación de cuatro pares de cualidades: cálido-seco (**fuego**), cálido-húmedo (**aire**), frío-húmedo (**agua**) y frío-seco (**tierra**). El **movimiento** típico de las cosas en el mundo sublunar es el **rectilíneo**, no el circular, y **siempre hacia arriba o hacia abajo**. Dicho movimiento no se debe a ninguna fuerza o atracción (no admite la idea de "acción a distancia"), sino que se trata de un **movimiento natural**, debido a los elementos de los que están compuestas las sustancias y dependiendo de la combinación que se de en ellas, tenderán hacia arriba o hacia abajo. Así, el **fuego y el aire son ligeros**, se mueven por su propia "naturaleza" hacia su lugar natural: el cielo. La **tierra y el agua se mueven hacia abajo** porque son pesados, tienden hacia el centro de la tierra (su lugar natural).

b) Respecto al MUNDO SUPRA-LUNAR, Aristóteles afirma que los **astros** son seres animados (tienen movimiento), **incorruptibles y eternos**, están constituidos por el "**quinto elemento**", el **éter**. Tienen un **movimiento perfecto: circular, eterno, regular**. Cada astro se instala en una **esfera** de éter movida por un **motor**. La penúltima de las esferas es la de las **estrellas fijas**, por encima de la cual está la última, que es donde se encuentra el **Motor Inmóvil, causa de todo el movimiento universal** que va transmitiendo a los motores de las otras esferas inferiores en las que se engastan los astros o planetas. En tiempos de Aristóteles, aparte de la Tierra, se conocía la existencia de otros 5 planetas (Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno)

Este **sistema planteaba problemas** respecto al movimiento aparente de los planetas, especialmente el de **Marte**, que parecían tener un movimiento retrógrado, como si a veces retrocedieran sobre sus órbitas.

Los astrónomos posteriores intentaron salvar las apariencias del sistema sin romper el esquema básico de la cosmovisión aristotélica. El astrónomo **CLAUDIO PTOLOMEO** intentó solucionar estas **anomalías** ideando un complicado sistema, que, pese a su éxito, no acababa de ser satisfactorio. Para **explicar el movimiento retrógrado**, concibe los planetas viajando a lo largo de pequeños círculos llamados **epiciclos** que se mueven en círculos más grandes: las **deferentes** de las órbitas generales de los planetas. El centro de un epiciclo se mueve con una **velocidad angular** constante relativa al punto llamado **ecuante**, **localizado simétricamente respecto a un hipotético observador en la Tierra**.



Alfonso X el sabio en el siglo XIII, comentó cuando le explicaron el sistema aristotélico-ptolemaico: **"Si Dios me hubiera pedido consejo al crear el Universo, le hubiera pedido que lo hiciera más sencillo"**.

Luego vino **Ockham** en el siglo XIV, y propuso su famosa **navaja de Ockham**, nombre que se le dio a su **Principio de economía**, según el cual: **"entia non sunt multiplicanda praeter necessitatem"**

→“**no se deben multiplicar los entes sin necesidad**”, o lo que es lo mismo: dadas dos explicaciones posibles de una de un fenómeno, etc., debemos elegir la explicación más simple.

CARACTERÍSTICAS DE LA COSMOVISIÓN ANTIGUA	
ORGANICISMO	El cosmos tiene la estructura ordenada similar a la de un organismo vivo, es una totalidad presidida por un dinamismo intrínseco cuyas partes (diferentes sustancias) están ordenadas según el Logos, también intrínseco a él mismo. Además, está organizado jerárquicamente.
TELEOLOGISMO	Todas las cosas están organizadas e integradas en la totalidad del cosmos y cada parte tiene una finalidad propia dentro del todo.
HETEROGENEIDAD	El universo tiene regiones diferenciadas: mundo sublunar y mundo supralunar, además la composición material de las mismas es diversa: cuatro elementos para la región sublunar, y el éter para la supralunar.
UNIVERSO FINITO	Tiene límites y es eterno
GEOCENTRISMO	La Tierra es el centro del universo al ser el elemento más pesado y es inmóvil.
RACIONALIDAD	La realidad puede ser conocida y comprendida, porque el ser humano, dotado de una razón, (logos) está conectado con el Logos universal.
ANTROPOMORFISMO	El ser humano es el centro del universo y lo contempla desde su perspectiva terrestre.

4. LA COSMOVISIÓN MODERNA

4.1. LA REVOLUCIÓN COPERNICANA

A pesar de las objeciones que recibió a lo largo de los siglos, **el sistema aristotélico fue aceptado sin discusión en sus postulados fundamentales: el geocentrismo y la inmovilidad de la Tierra**. Sin embargo, el modelo se mantenía gracias a un complicadísimo sistema que dificultaba las predicciones astronómicas.



La idea de que la **tierra se moviera** ya había sido formulada por **Heráclides Póntico** en el siglo IV a. C. Afirmó que la Tierra rotaba una vez al día; los pitagóricos creían que la Tierra, el Sol y los demás astros giraban en torno a un fuego central, el «Altar de Zeus»; pero fue **Aristarco de Samos** el que propuso claramente la primera teoría heliocéntrica. Desgraciadamente, fue abandonada durante siglos por la aplastante competencia que le hizo el “*sentido común*”: si se mueve la Tierra, ¿por qué no lo notamos si vemos cómo todo lo demás se mueve?

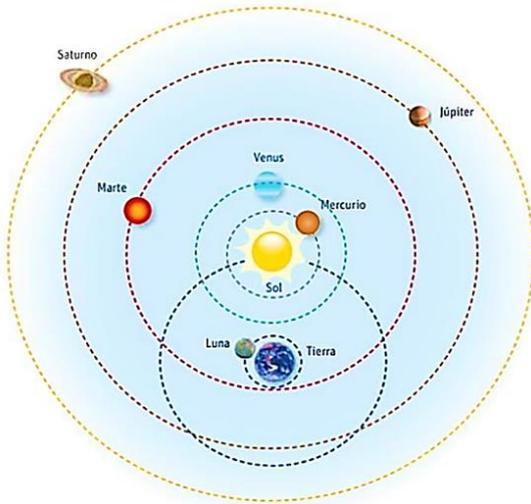


El astrónomo polaco **NICOLÁS COPÉRNICO** (1473-1543) en su obra ***Sobre las revoluciones de las esferas celestes*** (*De revolutionibus orbium coelestium*), aplicando la “navaja de Ockham” propuso un **sistema alternativo** con la intención de simplificar los cálculos, que, aunque tardó en imponerse, supuso un cambio radical de perspectiva en la cultura occidental, que conocemos como la **revolución copernicana o giro copernicano**. El polaco afirmaba que la **Tierra se movía alrededor del Sol**. Según el sistema copernicano, el **Sol es el centro del universo, y en torno a él orbitan todos los planetas y las estrellas**; la **Luna seguía girando alrededor de la Tierra**. Sabemos que este sistema no es del todo, pero resolvía las numerosas anomalías del antiguo modelo aristotélico-ptolemaico, y produjo a la larga un cambio de mentalidad, pese a la **intolerancia religiosa** de la inquisición.



GIORDANO BRUNO (1548-1600), filósofo y astrónomo renacentista italiano, **defendió el heliocentrismo de Copérnico**. Negó que las esferas fijas supusieran el límite del universo, afirmando, por consiguiente, la **infinitud del universo**. Su “atrevimiento” le costó caro: fue encarcelado por la inquisición y **quemado vivo** en una hoguera en 1600 en la romana plaza Campo de' Fiori.

TYCHO BRAHE (1546-1601) fue un matemático y astrónomo danés que **no aceptó totalmente el sistema propuesto por Copérnico e ideó un modelo intermedio entre éste y el de Ptolomeo**: el **geo-heliocentrismo**, en el que el Sol y la Luna giraban en torno a la Tierra, y el resto de planetas lo hacían alrededor del Sol.



Dedicó **mucho tiempo a la observación y obtención de medidas de las posiciones de las estrellas**. Quería que esas **tablas** fueran la base de **un nuevo y más preciso catálogo estelar**. **Kepler**, colaborador suyo durante un año en Praga, **compuso las nuevas tablas** basándose en las meticulosas observaciones de Brahe.

GALILEO GALILEI (1564-1642), natural de Pisa, gracias al innovador uso del **telescopio**, realizó observaciones astronómicas, especialmente de la Luna, y al comprobar los cráteres, llegó a la conclusión de que el satélite tenía la misma composición que la Tierra, **negando por tanto la doble composición del universo – sublunar y supralunar - sostenida por Aristóteles**. El **Sol tiene manchas**, luego los astros no son inmutables. En 1610, publicó su ***Sidereus Nuncius*** (Mensajero de las Estrellas), describiendo sus observaciones con el telescopio, entre ellas, las lunas galileanas de Júpiter.



Sin embargo, éstas provocaron inicialmente un profundo rechazo, como explica el siguiente texto de Thomas S. Kuhn:

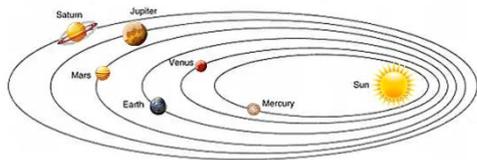
«La continua oposición a los resultados de las observaciones telescópicas era sintomática de la profunda y tenaz oposición al copernicanismo durante el siglo XVII. Ambos aspectos tienen un mismo origen, una reticencia subconsciente a consentir la destrucción de una cosmología que, durante siglos, había constituido la base de la vida cotidiana, tanto práctica como espiritual». **Thomas S. Kuhn: *La revolución copernicana*.**

En 1632, Galileo publicó su ***Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo***, en el que implícitamente **defendía el heliocentrismo**. También Galileo fue procesado por su heterodoxia, por segunda vez (la primera fue en 1616) aunque tuvo más suerte que su compatriota Bruno. Se le **condenó a arresto domiciliario y se prohibió la publicación** de cualquiera de sus obras, incluidas las que pudiera escribir en el futuro.

JOHANNES KEPLER (1571-1630), astrónomo y matemático alemán, y amigo de Galileo, compartía también la **tesis heliocéntrica**, a la que aportó una base matemática firme. **Al estudiar el movimiento de Marte, concluyó que las órbitas de los planetas no eran perfectamente circulares, sino que su trayectoria era elíptica, y que el Sol se encontraba en uno de los focos de la elipse.** Las tres leyes de Kepler fueron demoledoras: el geocentrismo ya no tenía coartada. Por otro lado, **la fuerza que impulsaba a los astros provenía del Sol, y podía explicarse por las leyes matemáticas y físicas.** La consecuencia inmediata fue una nueva representación del universo: el universo-máquina, un gran mecanismo regular y predecible.

KEPLER-MODELO KEPLERIANO

-Primera ley: Los planetas giran en elipses alrededor del Sol.



La fuerza que impulsaba a los astros provenía del Sol, y podía explicarse por las leyes matemáticas y físicas. La consecuencia inmediata fue una nueva representación del universo: el universo-máquina, un gran mecanismo regular y predecible.

4.2. LA NUEVA FÍSICA

Durante los siglos XVI, XVII y XVIII se va fraguando un cambio de paradigma científico: **la revolución científica moderna, que dará paso a la nueva física, basada en un cambio de método que combinaba lo experimental con las matemáticas.**

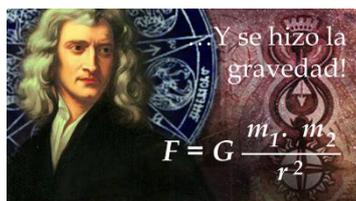
Sus principales protagonistas fueron: **Galileo, Kepler, Huygens, y Newton.** Aunque no debemos olvidar a Descartes (1596-1650), La Mettrie (1709-1751) y Laplace (1749-1827) por su contribución al mecanicismo.



GALILEO formula el **principio de inercia**, según el cual **los cuerpos tienden a permanecer en reposo o bien a velocidad uniforme a no ser que actúe sobre ellos una fuerza**, pieza que le faltaba a la hipótesis heliocéntrica: los cuerpos tienden a conservar su trayectoria. Gracias a la inercia, se explica el movimiento de los astros sin recurrir al rozamiento de las órbitas entre sí, ni es necesario postular la existencia de un Primer Motor: el Cosmos

tiene una cantidad de movimiento que conserva dinámicamente. Respecto al **espacio y el tiempo**, **Galileo creía que eran magnitudes relativas.** La percepción y la medida de las magnitudes físicas varían en función al **sistema de referencia** escogido.

Descartes, al igual que Galileo considera que el universo es matematizable y se rige por dos principios: el de inercia y el de conservación de la cantidad de movimiento. Las sustancias materiales (res extensa) son meras máquinas, explicables en términos de masa, fuerza y movimiento local. Sólo el pensamiento (res cogitans) y Dios (res infinita) escapan a este comportamiento y tienen libertad.



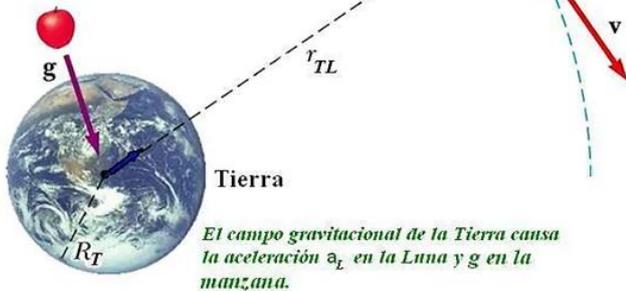
ISAAC NEWTON (1643-1727) hará llegar a la física clásica a su plenitud. En sus ***Philosophiæ naturalis principia mathematica*** (*Principios matemáticos de la filosofía natural*) sintetizó todas las aportaciones anteriores. Así, en una de las partes introductorias a la obra, titulada: "Axiomas o leyes del movimiento" enuncia las tres leyes:

- **Primera ley:** Todos los cuerpos **perseveran en su estado de reposo o de movimiento** uniforme en línea recta, salvo que se vean forzados a cambiar ese estado por fuerzas impresas.
- **Segunda ley:** El **cambio de movimiento es proporcional a la fuerza** motriz impresa, y se hace en la dirección de la línea recta en la que se imprime esa fuerza.
- **Tercera ley:** Para toda **acción hay siempre una reacción** opuesta e igual. Las acciones recíprocas de dos cuerpos entre sí son siempre iguales y dirigidas hacia partes contrarias.

En el libro **Tercero de los Principia** afirma: “las cualidades de los cuerpos sólo son conocidas por experimentos...no debemos abandonar la evidencia de los experimentos [...] debemos como consecuencia de esta regla admitir universalmente que todos los cuerpos sin excepción están dotados de un principio de gravitación.”

Ley de Gravitación Universal de Newton

$$F_G = \frac{Gm_T m_L}{r_{TL}^2}$$

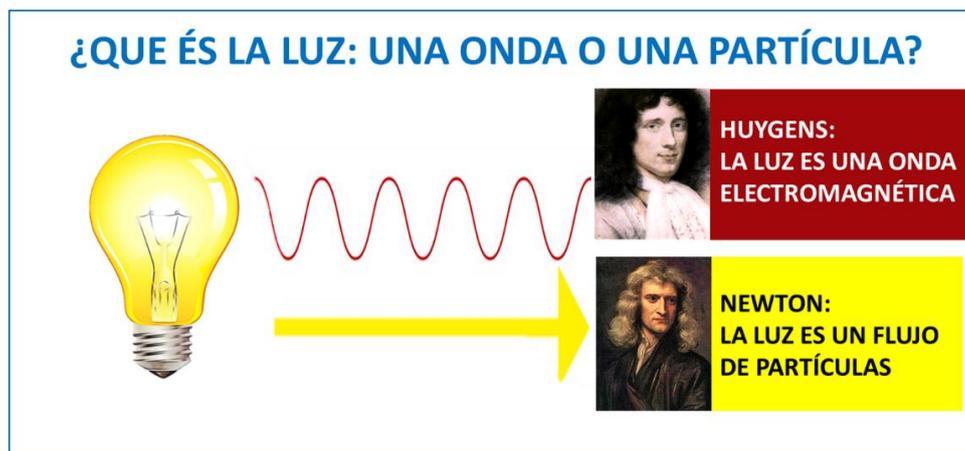


Newton descubrió la pieza que falta del nuevo Universo: la **gravedad**. Gracias a la fuerza de gravedad, el cosmos podía ser concebido como una **máquina material autónoma**, que funcionaba siguiendo leyes causales deterministas.

«Los movimientos que los planetas tienen actualmente no podrían haber surgido de ninguna causa natural por sí sola, sino ser impresos por un agente inteligente. Pues ya que los cometas descienden hasta la región de nuestros planetas, y aquí se mueven de todas maneras, yendo a veces por el mismo camino que los planetas, a veces por el camino contrario, y a veces cruzándose, en planos inclinados respecto al plano de la eclíptica, y en toda clase de ángulos, está claro que no hay una causa natural de que todos los planetas, tanto primarios como secundarios, se movieran del mismo modo y en el mismo plano sin ninguna variación considerable. Esto debe ser el efecto de algo deliberado». **Isaac Newton: Primera carta a Richard Bentley.**

El problema era que es difícil **explicar las fuerzas a distancia**, de ahí que posteriormente, se intentara demostrar, o desmontar, la existencia del éter como fluido que hacía posible la transmisión de la gravedad. Pero Newton se negaba a dar una explicación sin fundamento (“hypothesis non fingo”)

El problema era que es difícil **explicar las fuerzas a distancia**, de ahí que posteriormente, se intentara demostrar, o desmontar, la existencia del éter como fluido que hacía posible la transmisión de la gravedad. Pero Newton se negaba a dar una explicación sin fundamento (“hypothesis non fingo”)



CHRISTIAAN HUYGENS (1629-1695) postuló en su **teoría ondulatoria de la luz** que el **éter** (nada que ver con el éter aristotélico) era la supuesta realidad material elemental y extremadamente **sutil que presuntamente llenaba todo el universo**, de la que estarían formadas las **ondas**. Para Huygens la **luz** no consistía en corpúsculos, sino en **ondas de éter**. **Newton**, en cambio, sostenía una **teoría corpuscular de luz**, según la cual la luz es un flujo de pequeñas partículas o corpúsculos sin masa, emitidos por fuentes luminosas que viajan en línea recta a una gran velocidad. Tras un éxito inicial de la opción newtoniana, se adoptó de modo mayoritario la hipótesis del éter hasta la demostración de su inexistencia a inicios del siglo XX.

4.3. CARACTERÍSTICAS DE LA COSMOVISIÓN MODERNA

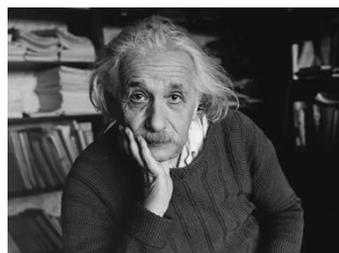
Podemos resumir la cosmovisión moderna en la siguiente tabla:

CARACTERÍSTICAS DE LA COSMOVISIÓN MODERNA	
MECANICISMO	El universo funciona como una máquina, cuyas partes materiales interactúan ciegamente, de modo similar a un reloj.
DETERMINISMO FÍSICO	La máquina del universo funciona siguiendo unas leyes inmutables que no admiten excepciones, y que determinan todo lo que ocurre mediante una férrea concatenación de causas y efectos. Lametrie es radical al respecto.
HOMOGENEIDAD	El universo está regido por las mismas leyes en todas partes.
INFINITUD	El universo es un espacio ilimitado donde interactúan infinitos cuerpos. Para Newton, estaba vacío a excepción de estos; para Huygens, lleno de éter, idea que acabó imponiéndose.
HELIOCENTRISMO	El sol es el centro del sistema planetario
RACIONALIDAD DEL MUNDO	El universo tiene una estructura matemática que nos permite conocerlo mediante diferentes razonamientos geométricos y aritméticos.
TEÍSMO	El universo es la obra de Dios, que lo creó, lo dotó de leyes y lo mantiene gracias a su sabiduría y poder infinitos, y lo hace a la manera en que un relojero monta los engranajes de diversos relojes de forma perfecta, y luego los sincroniza con asombrosa exactitud (armonía preestablecida de Leibniz)

5. LAS COSMOVISIONES CONTEMPORÁNEAS

La cosmovisión moderna mantuvo su vigencia hasta principios del siglo XX, aunque en muchos aspectos sigue teniendo acogida entre el gran público. Dos nuevas ramas de la física terminarían revolucionando la visión del mundo de la física clásica. La primera teoría que desafió esta cosmovisión fue la **teoría de la relatividad** de **Albert Einstein** en relación al macrocosmos, y luego le seguiría la **física cuántica** de Max Planck, centrada en la comprensión del microcosmos. Además, se vuelve a la teoría corpuscular de Newton, abandonándose la hipótesis del éter, cuya existencia se había afirmado durante dos siglos.

5.1. EL UNIVERSO SEGÚN EINSTEIN



Relatividad

energía en reposo de la materia
masa
velocidad de la luz
cuadrado

$$E = mc^2$$

Albert Einstein (1879-1955) publicó en 1905 su **teoría especial de la relatividad**. En ella se estudiaba el movimiento en condiciones «especiales», sin influencia de la gravedad.

Es en este artículo donde aparece la conocida fórmula que afirma que la energía (E) es igual al producto de la masa (m) por la velocidad de la luz (c) al cuadrado. De donde se deduce que toda masa es energía. Inversamente, puede decirse también que la energía es masa «liberada».

La teoría explica, por ejemplo, cómo las estrellas –liberando energía de manera eficiente– pueden durar miles de millones de años sin agotar su combustible. Otro dato importante en la teoría de Einstein se refiere a la **velocidad de la luz** (300 000 kilómetros por segundo), que es **constante e insuperable**. En la **teoría general de la relatividad**, publicada en 1917, **se incluye la gravedad**, y supone la culminación de la física de Einstein. En ella el **espacio y el tiempo no son absolutos sino relativos** tanto al observador como al objeto observado, como se daba por sentado en las cosmovisiones anteriores. Según Einstein, el espacio y el tiempo «se deforman» de manera tanto más acusada cuanto mayor es la velocidad.

Para Einstein **el tiempo forma parte del espacio**: es una **cuarta dimensión** añadida a las tres dimensiones del espacio. Esto se denomina el **continuo espacio-tiempo**. El tiempo y el espacio no son, como decía Newton, el *Sensorium Dei*, una realidad absoluta e inmutable, y Dios se manifiesta como espacio y tiempo, pues existiendo en todas partes y siendo siempre, constituye el espacio y el tiempo. Por el contrario, Einstein afirma que el tiempo varía constantemente.

De la teoría de la relatividad se deduce que la gravedad, o, mejor dicho, el **campo gravitacional** es fruto de la **deformación que produce una masa en la geometría del espacio que la rodea**. Toda masa, por ejemplo, el sol, produce un “**abombamiento**” del espacio que afecta a los cuerpos que se encuentran en las proximidades, es decir, en su campo gravitatorio y el **tiempo transcurre más lentamente**. En el mundo que nos rodea no puede comprobarse, pero si se trata de un cuerpo celeste de gran masa, como un planeta o una estrella, la distorsión del espacio-tiempo es muy grande, y, por tanto, su acción gravitatoria sobre los objetos que se encuentran a su alcance también es grande. La curvatura explica las trayectorias orbitales de los planetas



Para entender la distorsión del espacio-tiempo y su relación con la gravedad se ha recurrido al **modelo del plano flexible** o, más coloquialmente, «del colchón». Si imaginamos una superficie elástica de goma estirada, colocada a suficiente altura del suelo, y hacemos rodar desde su borde una esfera, esta hará combarse la superficie y se colocará en su centro, formando una especie de embudo. Si hacemos rodar a continuación una esfera más pequeña, esta cambiará su tendencia al movimiento rectilíneo por un movimiento circular, e irá

dando vueltas en torno a la esfera grande hasta contactar en el fondo del embudo, como si estuviese atraída por ella.

5.2. LA GRAN EXPLOSIÓN: BIG BANG

De las ecuaciones de campo gravitatorio la teoría de la relatividad de Einstein se deducía que el universo no era estático, sino que o bien se expandía, o bien se contraía con curvatura constante. Sin embargo, Einstein se negaba a admitir estas consecuencias e introdujo una *constante cosmológica* para corregir la tendencia no estática del universo.



Sin embargo, a principios del siglo XX los avances en astronomía permitieron observar que el universo se expandía. **GEORGE LEMAÎTRE** propuso la hipótesis de que el universo se originó de un punto infinitesimal (o átomo primigenio) al modo en que estalla un cohete de fuegos artificiales. Esta hipótesis se ha confirmado posteriormente por la detección de la radiación de fondo de microondas (el «eco» aún perceptible de aquella explosión) que llena todo el universo. Fue el astrónomo Fred Hoyle quien llamó a esta explosión el **Big Bang**.

Según la teoría del Big Bang, el universo se originó a partir de una gran explosión. En este evento se creó el **espacio** y se marcó el origen del **tiempo**. El universo se fue enfriando y comenzaron a formarse los átomos de hidrógeno, de helio, de litio... que dieron lugar a las galaxias que observamos en la actualidad. Se calcula que el universo tiene unos 13.700 millones de años.

Parece ser que el universo se compone en un 70 % de energía oscura, en un 25 % de materia oscura (de las cuales se sabe muy poco) y solo en un 5 % de materia ordinaria. La energía oscura provoca una expansión acelerada del universo.

El Big Bang relata el pasado del universo, pero ¿Cuál será su futuro? A este respecto se contemplan varias posibilidades, de las que mencionaremos tres:

- El **Big Crunch**: la acción gravitacional detendrá la expansión del Universo y originará un proceso de contracción que conducirá de nuevo al momento inicial, a partir del cual se producirá un nuevo Big Bang, y así hasta el infinito.
- El **Big Freeze** o **muerte térmica del universo**: la expansión del universo continuará indefinidamente y el Universo “morirá” por enfriamiento al dispersarse la materia y la energía en un espacio cada vez más grande y frío debido a la segunda ley de la termodinámica: la **entropía**.
- El **Big Rip** (gran desgarramiento o expansión eterna). Se basa en la existencia de un tipo de energía oscura “**fantasma**” que se hace cada más fuerte con el tiempo. En este caso, los investigadores calculan que la tasa de expansión del universo será tan grande que en unos 22.000 millones de años los objetos comenzarán a deshacerse y los átomos a desarmarse en partículas elementales y radiación. El universo acabaría en un caldo de partículas subatómicas flotantes que permanecerían para siempre separadas, sin cohesión gravitatoria ni energía alguna.

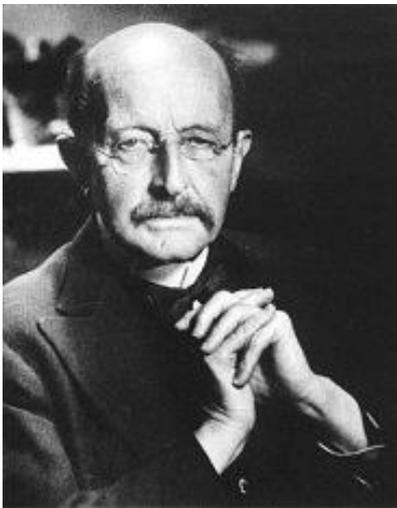
5.3. EL UNIVERSO CUÁNTICO



A principios del siglo XX, otro descubrimiento en el terreno de la física provocó un giro trascendental para la comprensión del universo: la aparición de la **mecánica cuántica**.

La mecánica cuántica rompe también, a su modo, con el universo newtoniano. Esta física se aplica al **microcosmos**, que se presenta como un abismo

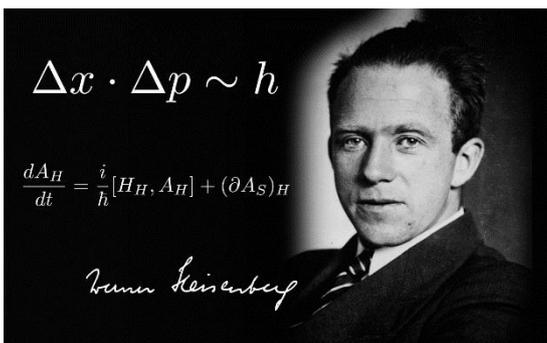
vertiginoso de partículas. A **nivel subatómico** no solo se incumple la física clásica, sino que se **desafía constantemente el sentido común**.



MAX PLANCK (1858-1947), en el año 1900 ante el resultado negativo del experimento de Michelson-Morley en 1887 que sugería la inexistencia del éter, descubrió que **la energía** no se emite de manera continua, sino en “paquetes” o “**cuantos**”, de naturaleza **discontinua**. Esto puso las bases de la física contemporánea.

Uno de los grandes problemas de aquella época era **cómo explicar el comportamiento de ciertas partículas subatómicas: los electrones**. Estos se comportaban a veces como partículas y a veces como ondas, circunstancias en principio totalmente incompatibles. Esto llevó a proponer dos teorías distintas que matemáticamente resultaban equivalentes:

- La **mecánica ondulatoria de Schrödinger**.
- La **mecánica matricial de Heisenberg**.



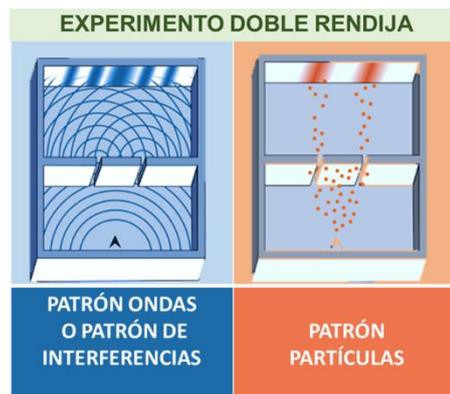
WERNER HEISENBERG (1901-1976) propuso en 1926 un compromiso entre ambas teorías que dio lugar al nacimiento de la mecánica cuántica: el **Principio de Incertidumbre o Indeterminación**. Según este principio, **el electrón es una partícula, pero puede describirse como una onda**. La incertidumbre reside en que **no se puede determinar con total precisión la posición y la velocidad de una partícula simultáneamente**. A mayor conocimiento en la posición, mayor incertidumbre en la velocidad y viceversa.

La medición de una de las dos cosas perturba necesariamente a la otra. Y no se trata de que nuestros instrumentos de medición sean imperfectos,

sino de que la naturaleza se comporta así. En la práctica **solo se puede indicar dónde estará probablemente**. Por ejemplo, al medir la temperatura del agua de una bañera, el termómetro altera la temperatura que tratamos de medir. Esta experiencia en procesos cotidianos es imperceptible e irrelevante, pero se vuelve un problema cuando tratamos con fenómenos subatómicos, puesto que cualquier alteración, por mínima que sea, resulta significativa y determinante.

DUALIDAD ONDA-PARTÍCULA: ESPERIMENTO DE LA DOBLE RENDIJA

Si lanzamos electrones uno a uno a través de la doble ranura, lo esperable es que el electrón, que es una **partícula**, impacte igual que lo haría una canica y dibuje dos franjas verticales. Sin embargo, el resultado que obtenemos es **patrón de interferencia** → ONDA



¿Qué pasa cuando colocamos un detector para averiguar por qué ranija pasa el electrón? El “patrón de interferencia” desaparece y los electrones impactan en la segunda placa como si fuesen PARTICULAS.

Al tratar de observar el sistema, hemos actuado sobre él, obligando al electrón a comportarse como una partícula. Los fotones que hemos enviado para detectarlo han interactuado con él y alterado el resultado del experimento.

Además, en el interior de los átomos, los acontecimientos no suceden como en nuestro mundo. El físico danés **Niels Bohr** (1885-1962) descubrió que un electrón pasa de ocupar una órbita a ocupar otra sin pasar por el espacio intermedio: **salto cuántico**. Se han observado, además, **infinidad de partículas que brotan espontáneamente de la nada y vuelven a desaparecer** en un tiempo pequeñísimo. Y también se ha descubierto, siguiendo el principio de exclusión de Wolfgang Pauli, que existen **ciertos pares de partículas que se ven afectadas sin importar la distancia que las separe**: si interceptamos una de ellas, la otra se ve inmediatamente afectada.



ERWIN SCHRÖDINGER (1887-1961) defendía en su **mecánica ondulatoria** una posición **determinista**. La **ecuación de Schrödinger** es una ecuación de onda **pretende predecir la probabilidad precisa de los eventos o resultados del comportamiento futuro de un sistema dinámico**.

La teoría predominante, llamada interpretación de Copenhague dice que **un sistema cuántico permanece en superposición hasta que interactúa con el mundo externo o es observado por él**. Cuando esto sucede, **la superposición colapsa en uno u otro de los posibles estados** definidos.

Schrödinger pretendía que el ejemplo ilustrara el absurdo de la **interpretación de Copenhague**. Para visualizar mejor lo que él consideraba un absurdo, Schrödinger **ideó un experimento mental a escala humana haciéndolo dependiente de una partícula cuántica que estaba en una superposición**.

Propuso un escenario con un gato, en el que la vida o la muerte del gato dependía del estado de un átomo radiactivo, si se había descompuesto y emitido radiación o no. **Según Schrödinger, la interpretación de Copenhague implica que el gato permanece vivo y muerto hasta que se observa el estado**.

GATO DE SCHRÖDINGER:

1. Imaginemos un **gato** en una **cámara de acero cerrada**, en la que hay:

- Un matraz que contiene un veneno.
- Una fuente que contiene partículas radiactivas.
- Un martillo acoplado a un contador Geiger detector de radiación.



2. Si se produce la desintegración radiactiva de algún átomo, el contador Geiger detecta la radiación, el martillo rompe el matraz, liberando el veneno que mata al gato.

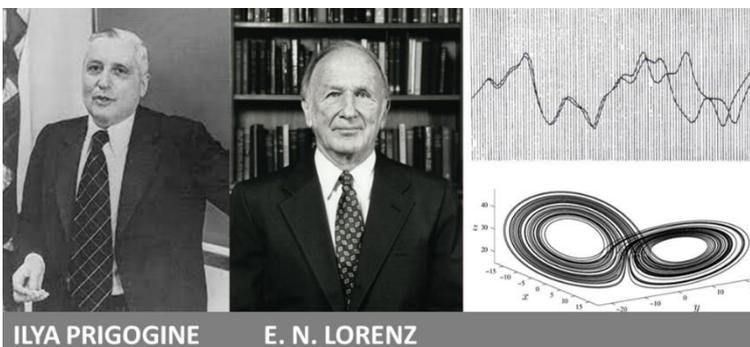
3. Mientras no abrimos la caja, el gato puede estar vivo **y** muerto → en superposición cuántica.

4. Pero en el momento en que la abramos, la sola acción de observar modifica el estado del sistema tal que ahora observamos un gato vivo, **o** un gato muerto.

Ante los extraños descubrimientos de la física cuántica se ofrecieron, entre otras, **dos interpretaciones** opuestas.

- Por una parte, la **interpretación objetivista**, sostenida por **Schrödinger, Broglie y Einstein**. A este último le disgustaban enormemente los derroteros que había tomado la física cuántica y escribió a su amigo Max Born: *“La mecánica cuántica es realmente imponente. Pero una voz interior me dice que aún no es la buena. La teoría dice mucho, pero no nos aproxima realmente al secreto del 'viejo'. Yo, en cualquier caso, estoy convencido de que ÉL no tira dados”*. Einstein seguía confiando en el determinismo de la física clásica, sujeto a un férreo entramado de causas y efectos, y en la predicción exacta de los acontecimientos que ella buscaba. De hecho, **consagró casi la última mitad de su vida a formular, sin éxito, una teoría unificada de toda la física**.
- Por otra parte, la llamada **interpretación de Copenhague**, defendida por **Bohr, Heisenberg y Born**, que es la más aceptada en la actualidad. Esta corriente sostiene que:
 - Es **imposible la objetividad** en el conocimiento de la naturaleza.
 - La **indeterminación** es una cualidad de la realidad, y nuestro conocimiento de ella sólo puede expresarse mediante leyes probabilísticas.
 - El **principio de complementariedad**: la física, según Bohr, ha de reflejar lo que muestra la experiencia, sea o no contradictorio.

5.4. TEORÍA DEL CAOS



ILYA PRIGOGINE (1917-2003), químico ruso, y el matemático y meteorólogo norteamericano **EDWARD NORTON LORENZ** (1917-2008) son los principales representantes de la Teoría del Caos.

Prigogine afirma que “el mundo no sigue estrictamente el modelo del reloj, previsible y determinado, sino que tiene aspectos caóticos” que podemos constatar mediante la observación. Un ejemplo claro es la variación “misteriosa” de los cambios meteorológicos.

La teoría se centra en el estudio de ciertos tipos de **sistemas complejos y dinámicos no lineales muy sensibles a las variaciones** en las condiciones iniciales. **Pequeñas variaciones en dichas condiciones iniciales pueden implicar grandes diferencias en el comportamiento futuro**, imposibilitando la predicción a corto plazo. La teoría se aplica a un gran número de campos, por ejemplo, a la meteorología, las placas tectónicas, a los fluidos, al crecimiento de las poblaciones, a las fluctuaciones bursátiles, medicina, psicología, etc.

El desarrollo y la aplicación de la Teoría del caos permite calcular o deducir el orden subyacente que ocultan los fenómenos aparentemente aleatorios. Las ecuaciones de Lorenz revelan las siguientes características del aparente caos:

DETERMINISTA	Propone la existencia de una “leyes” que gobiernan la conducta de los sistemas
SIMULABLE MEDIANTE MODELOS	Se puede simular un fenómeno a menor escala que el sistema original, lo que permite generar los mismos datos observados
SOMETIDO A VARIABILIDAD	Una desviación infinitesimal en el punto de inicio provoca una divergencia exponencial en la trayectoria del espacio de fase.
DESORDEN APARENTE	Ciertos fenómenos parecen desordenados o aleatorios , pero en realidad no lo son: siguen ecuaciones determinadas .

EFEECTO MARIPOSA
Una mariposa que mueve sus alas en Brasil puede producir, dentro de un tiempo después, un tornado en Tejas



Con Lorenz se popularizó a partir de 1972, sin haberlo querido, la analogía sobre el caos que conocemos como el **efecto mariposa**. El origen es el título que dos colegas suyos pusieron a una conferencia que él debía dar en la 139th Meeting of the American Association for the Advancement of Science, y a la que titularon “**Predictability: Does**

the Flap of a Butterfly's wings in Brazil Set Off a Tornado in Texas?”, (*Predictibilidad, ¿El aleteo de una mariposa en Brasil hace aparecer un tornado en Texas?*): una mariposa que mueve sus alas en Brasil puede producir, dentro de un tiempo después, un tornado en Tejas.

CONCLUSIÓN:

La visión contemporánea es muy diversa, como acabamos de ver.

- A nivel macrocósmico rige la RELATIVIDAD
- A nivel microcósmico rige la TEORÍA CUÁNTICA

Pero a veces aparecen juntas, como en los agujeros negros o en el Big Bang, y la física aún no ha podido conciliarlas.

LA TEORÍA DEL TODO o **TEORÍA UNIFICADA** fue el sueño incumplido de Einstein. A este empeño dedicó los últimos 30 años de su vida. No lo logró, y hoy continúa sin descubrirse.

La teoría del todo debe explicar todas las fuerzas de la naturaleza, y todas las características de la energía y la materia. Debe resolver la cuestión cosmológica sobre el origen del Universo. Debe unificar las teorías de la relatividad y la teoría cuántica. Y, además, debe integrar otros universos en caso de que los haya. El problema está en la cuarta fuerza fundamental: la gravedad, que sigue siendo incompatible con la cuántica.

Hoy, la **teoría de cuerdas** persigue cumplir el sueño de Einstein. Es la principal aspirante a una teoría del todo. Una variante de la teoría de cuerdas, **la teoría M**, cree poder unificar la gravedad. Para la teoría M, la gravedad no sería una fuerza sino un tipo de partícula provocada por una especial vibración de las cuerdas. Esta partícula elemental sería un bosón llamado gravitón. Pero hasta la fecha es sólo una teoría sin demostrar.

Seguiremos atent@s y a la espera.