El Rey de la eternidad (relatividad).

La sagrada escritura da a entender que el Creador es eterno en sentido absoluto, sin comienzo ni final: "Al único Dios nuestro Salvador mediante Jesucristo nuestro Señor, sea gloria, majestad, potencia y autoridad **por toda la eternidad pasada y ahora y para toda la eternidad**. Amén" (Carta de Judas, versículo 25).

La revista LA ATALAYA del 1-8-2014, página 15, editada en inglés, español y otros idiomas por la Sociedad Watch Tower Bible And Tract, expone en parte: «Un padre le dice a su hijo de siete años: "Hace mucho mucho tiempo, Dios hizo la Tierra y todas las cosas que hay en ella. También hizo el Sol, la Luna y las estrellas". El niño se queda pensando un rato y entonces le pregunta: "Papá... ¿y quién hizo a Dios?"... "Nadie —responde el padre—. Dios siempre ha existido". Por ahora, esta respuesta tan sencilla deja contento al niño. Sin embargo, a medida que crece, el tema le sigue causando curiosidad. Le cuesta entender que exista alguien que no haya tenido principio. "¿Cómo es eso posible? —piensa—. Hasta el universo tuvo principio". La pregunta sigue sin contestarse: ¿de dónde vino Dios?... Dios es el "Rey de la eternidad", como lo llamó el apóstol Pablo (1 Timoteo 1:17). En otras palabras, siempre ha existido, sin importar cuánto retrocedamos en el tiempo. Y

siempre existirá (Apocalipsis 1:8). Dios no tiene principio ni fin; ésa es una de sus principales características... Aunque nos cueste entender que Dios es eterno, la idea es lógica. Si alguien hubiera creado a Dios, esa persona sería el Creador. Sin embargo, la Biblia afirma que Jehová Dios (el Creador Todopoderoso) es quien hizo todas las cosas (Apocalipsis 4:11). Además, nosotros sabemos que hubo un tiempo en que el universo no existía (Génesis 1:1, 2). ¿Cómo apareció? Obviamente, su Creador ya tenía que existir. Y también tuvo que haber existido antes que cualquier otro ser inteligente... Está claro que, antes de empezar a crear, Dios estaba solo. Él no pudo haber sido creado, pues no había ni nada ni nadie aparte de él».

El tiempo.

La idea de TIEMPO es bastante intuible por las personas humanas, pero a la vez es extremadamente difícil de definir. Desde la antigüedad hasta el presente, muchos intelectuales han intentado desentrañar el misterio que impide dar una definición relativamente rigurosa de TIEMPO y sólo últimamente parece que se han conseguido algunos resultados prometedores.

Durante la infancia del conocimiento científico, el concepto que se tenía de "tiempo" era eminentemente antropocéntrico, pero hacia el siglo XV fue desapareciendo la visión subjetiva del tiempo que hasta entonces había embargado el enfoque de los filósofos y pensadores, siendo a partir de Galileo y Newton cuando, merced a la mecánica clásica, el "tiempo" se concebirá como un valor matemático; es decir, el concepto de "tiempo" empezó a concebirse como algo fijo, absoluto y medible, que puede conocerse por experimentos y cuya realidad no precisa relacionarse con el movimiento para ser medida, y que existe desde el pasado más remoto e inasequible hasta la eternidad inalcanzable del futuro. En definitiva, el "tiempo" se llegó a ver como algo ilimitado e inamovible, constante como un "tic-tac" que no pudiera parar jamás.

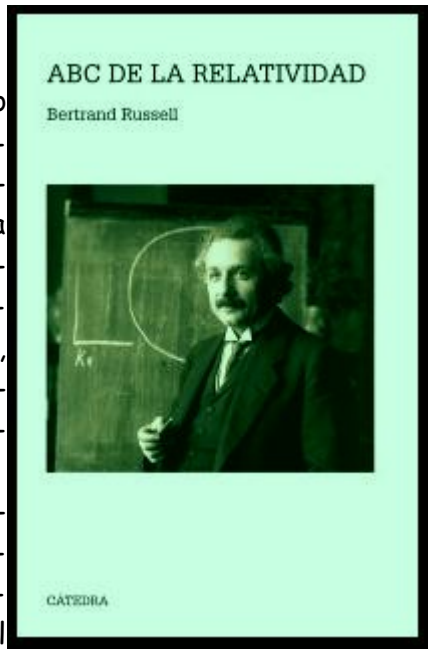
Pero la "teoría de la Relatividad General" de Albert Einstein, a primeros del siglo XX, supuso un duro golpe para la concepción que se tenía del tiempo en todos los estamentos de la sociedad humana (popular, académico, religioso, etc.). De pronto, el "tiempo" dejó de ser una magnitud absoluta y se convirtió en algo relativo, que varía en función de quién lo mida y bajo qué circunstancias lo mida. La revolución conceptual einsteniana dejaba claro que no sólo la percepción subjetiva que se tiene en cuanto a la duración de un acontecimiento es variable, sino que también, como magnitud física, el "tiempo" es igualmente variable; se define también en función del sujeto que lo experimenta, dependiendo de la velocidad a la que se mueva y en relación con la masa de los objetos, de la posición estática o de movimiento de quien lo mida, del enclave cercano o lejano respecto a una masa gravitatoria; y en todos estos casos los más precisos relojes marcarán desfases constatables, que pueden llegar a ser de pequeñísimas fracciones de segundo.

Científicos como Roger Penrose y Stephen Hawking desarrollaron las ideas básicas de Einstein, y este último ha lanzado también su propia teoría del tiempo en su libro "Una breve historia del tiempo". Hawking considera al "tiempo" como formado por tres flechas: la flecha termodinámica, la flecha cosmológica y la flecha psicológica. Opina que en nuestro universo, actualmente, las tres flechas apuntan hacia una misma dirección; sin embargo, esto puede que no siempre sea así. La "flecha termodinámica" está basada en la segunda ley de la Termodinámica, que indica que en cualquier sistema cerrado, el desorden (la "entropía") aumenta con el tiempo; por ejemplo, si un vaso de cristal (estado ordenado de la materia) se cae desde una mesa, éste se rompe en varios pedazos (estado desordenado); si ahora filmáramos un vídeo y pasáramos en cámara lenta la caída del vaso, veríamos cómo se va desordenando cada vez más conforme pasa el tiempo. La "flecha psicoló-

gica" es la que nos ayuda a percibir el tiempo, y ésta apunta hacia adelante; esto se puede explicar en base a que los sucesos son grabados en el cerebro, aumentando las conexiones, y con ello también aumenta el nivel de "desorden" de las neuronas. La "flecha cosmológica" es la que fue utilizada por Einstein para explicar el tiempo como causado por un universo en expansión; sin embargo, algunos teóricos han supuesto que en algún momento del futuro el universo empezará a colapsarse (en un "Big-crunch"), por lo que se podría pensar que la flecha cosmológica cambiará entonces su orientación.

Es interesante, con respecto a la denominada "flecha cosmológica" del tiempo, comparar algunas tendencias teóricas recientes con la visión de la realidad que puede extraerse del estudio profundo de la revelación que se encuentra consignada en las páginas de las sagradas escrituras. Ahí no se da a entender que nuestro mundo vaya a desaparecer a causa de un gran colapso global, sino, más bien, que éste continuará bajo la amorosa tutela del Todopoderoso. Por lo tanto, algo tendrá que descubrirse en el futuro que haga que todas las conjeturas que apuntan hacia un Big-crunch sean desechadas. Téngase en cuenta que, a pesar de lo mucho que ha avanzado la ciencia y la tecnología humanas, la verdad es que apenas hemos conseguido despegar de la plataforma de la ingenuidad e iniciar la gran aventura del conocimiento del universo.

Tiempo y relatividad.



La teoría de la relatividad de Albert Einstein causó un gran impacto dentro de la comunidad científica. Muchos creen que marcó un antes y un después en la historia de la ciencia, pues revolucionó la física vigente en su tiempo. Las teorías que dominaban en cada una de las áreas de investigación (física teórica, física atómica y molecular, física de partículas, física nuclear y astrofísica, sobre todo) fueron influidas por el efecto que causó la teoría de la relatividad especial y la relatividad general de Einstein. Él era de origen alemán, y viajó a distintos lugares del mundo para impartir allí clases en cursos avanzados de física. A lo largo de su vida obtuvo distintas nacionalidades. La última fue la estadounidense.

No es común que una teoría física tenga resonancias en múltiples disciplinas científicas. Es menos común todavía que esa teoría llegue al gran público. La complejidad de la teoría de Einstein no impidió que quienes se dedicaban a la divulgación científica consiguieran mostrar al gran público en general las ideas fundamentales de esta teoría. Bertrand Russell (1872-1970) fue uno de los primeros divulgadores de la teoría de la relatividad de Einstein. Su libro "ABC de la relatividad" logró alcanzar gran fama en la comunidad científica y en la comunidad filosófica. Como dice al comienzo del mismo, su contenido no es filosófico, sino científico. Tan sólo dedica un capítulo -el que cierra el libro- a las "consecuencias filosóficas de la teoría de la relatividad".

Por la formación científica que Russell recibió, era amplio conocedor de la matemática y la física de su tiempo. Como señala M. Garrido en el prólogo incluido en la edición de "Cátedra" del "ABC de la relatividad", este escrito de Russell, publicado originalmente en 1925, fue la primera y más completa introducción divulgativa a los nuevos fundamentos de la física establecidos por Einstein. A pesar de que estos fundamentos entraron rápidamente en conflicto con los de la también nueva "teoría cuántica", debido sobre todo a la impregnación de elementos subjetivos que por ambas partes se desarrollaron y que sólo el tiempo contribuiría a eliminar en buena medida, ambas posturas teóricas partían del contexto de crisis de comienzos del siglo XX, la cual se había originado en gran parte debido a que la mecánica clásica no podía ya explicar algunos hechos importantes.

En nuestros días, otro gran difundidor de la teoría relativista (capaz de llegar al gran público de una

manera menos complicada que Russell) es Stephen Hawking. Es el más famoso físico teórico actual, cosmólogo, que también ejerce de divulgador científico en el Reino Unido. Estando vivo, es ya una figura legendaria de dimensiones trágicas: investigador brillante, autor del éxito de ventas "Una breve historia del tiempo", confinado a una silla de ruedas e imposibilitado para hablar y escribir, dominador de las dos grandes teorías físicas más avanzadas del momento: la relatividad general y la mecánica cuántica; en las que ha encontrado dos puntos de insuficiencia y superposición, cuales son: los bordes de los agujeros negros y el origen del universo.

En esta monografía, intentaremos seguir a groso modo la línea de Hawking en su "Historia del tiempo (del Big Bang a los agujeros negros)", capítulos 1 (nuestra imagen del universo) y 2 (espacio y tiempo), por considerarla muy bien trazada; pero, a la vez, también nos convendría reflexionar en cómo la teoría relativista ha afectado las creencias religiosas edificadas sobre el atesorado constructo mental de "tiempo absoluto" y de cómo el creyente culto de principios del siglo XX podría haberse visto trastornado por la marea desestabilizadora ocasionada por la aparición de los nuevos conceptos. Empero, igualmente, hoy día, también, un conocimiento equivocado de las repercusiones cósmicas de la teoría einsteniana, que tal vez incluso brotara de físicos teóricos de elevada reputación, pudieran llevar a confusión y a colisión contra los pensamientos que rezuman de las sagradas escrituras.

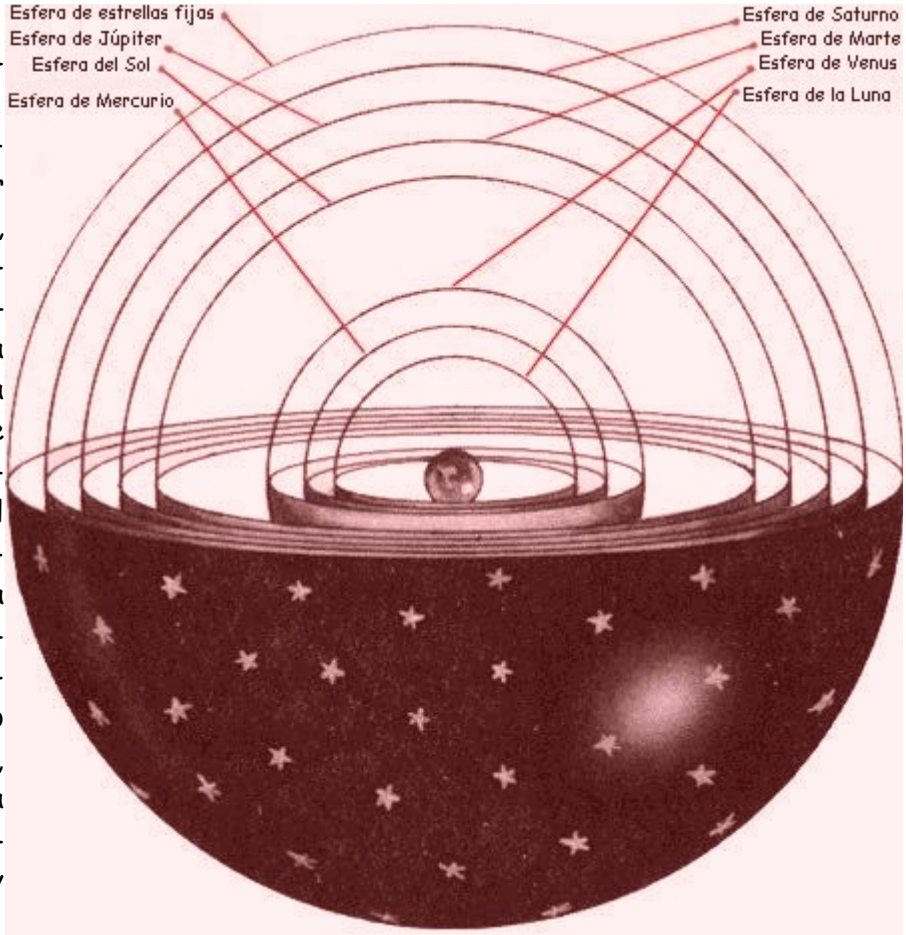
Aunque la relatividad repercute en otras magnitudes, aparte del tiempo, es, sin embargo, en esta última en donde a nivel popular ha tenido más impacto. Ha permitido el desarrollo de muchas especulaciones de ciencia-ficción, como los supuestos viajes en el tiempo (hacia el pasado y el futuro). Sin duda, estas especulaciones han desviado la mente de muchas personas con respecto a lo que dice la sagrada escritura, la cual no es proclive a los viajes en el tiempo. Sólo baste pensar en el siguiente ejemplo: supongamos que un sujeto pueda valerse de una tecnología muy avanzada para volver al pasado y enmendar el error de Adán y Eva; con ello, al cambiar el curso de la historia, haría innecesario el sacrificio de rescate de Cristo (por lo que hubiera sido más razonable facilitar al hombre el acceso a esa elevada tecnología, para evitar así tan duro sacrificio y las costosas consecuencias de aquel primer error).

Los cielos y la Tierra.

En el año 340 antes de la EC (era común o cristiana) el filósofo griego Aristóteles, en su libro "De los Cielos", fue capaz de establecer dos buenos argumentos para creer que la Tierra era una esfera redonda en vez de una plataforma plana. En primer lugar, se dio cuenta de que los eclipses lunares eran debidos a que la Tierra se situaba entre el Sol y la Luna. La sombra de la Tierra sobre la Luna era siempre redonda. Si la Tierra hubiera sido un disco plano, su sombra habría sido alargada y elíptica a menos que el eclipse siempre ocurriera en el momento en que el Sol estuviera directamente debajo del centro del disco. En segundo lugar, los griegos sabían, debido a sus viajes, que la estrella Polar aparecía más baja en el cielo cuando se observaba desde el sur que cuando se hacía desde regiones más al norte (como la estrella Polar está sobre el polo norte, parecería estar justo encima de un observador situado en dicho polo, mientras que para alguien que mirara desde el ecuador parecería estar justo en el horizonte). A partir de la diferencia en la posición aparente de la estrella Polar entre Egipto y Grecia, Aristóteles incluso estimó que la distancia alrededor de la Tierra era de 400.000 estadios. No se conoce con exactitud cuál era la longitud de un estadio, pero puede que fuese de unos 200 metros, lo que supondría que la estimación de Aristóteles era aproximadamente el doble de la longitud hoy en día aceptada. Los griegos tenían incluso un tercer argumento en favor de que la Tierra debía de

ser redonda, ¿por qué, si no, ve uno primero las velas de un barco que se acerca en el horizonte, y sólo después se ve el casco?

Aristóteles creía que la Tierra era estacionaria (estática o inmóvil) y que el Sol, la luna, los planetas y las estrellas se desplazaban en órbitas circulares alrededor de ella. Creía eso porque estaba convencido, por razones místicas, de que la Tierra era el centro del universo y de que el movimiento circular era el más perfecto. Esta idea fue ampliada por Ptolomeo en el siglo II de la EC, hasta constituir un modelo cosmológico completo. La Tierra permaneció en el centro del universo, rodeada por ocho esferas que transportaban a la Luna, el Sol, las estrellas y los cinco planetas conocidos en aquel tiempo: Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno . Los planetas se movían en círculos más pequeños engarzados en sus respectivas esferas para que así se pudieran explicar sus relativamente complicadas trayectorias celestes. La esfera más externa transportaba a las llamadas estrellas fijas, las cuales siempre permanecían en las mismas posiciones relativas, las unas con respecto de las otras, girando juntas a través del cielo. Lo que había detrás de la última esfera nunca fue descrito con claridad, pero ciertamente no era parte del universo observable por el hombre.



El modelo de Ptolomeo proporcionaba un sistema razonablemente preciso para predecir las posiciones de los cuerpos celestes en el firmamento. Pero, para poder predecir dichas posiciones correctamente, Ptolomeo tenía que suponer que la Luna seguía un camino que la situaba en algunos instantes dos veces más cerca de la Tierra que en otros. Y esto significaba que la Luna debería aparecer a veces con tamaño doble del que usualmente tiene. Ptolomeo reconocía esta inconsistencia, a pesar de lo cual su modelo fue ampliamente, aunque no universalmente, aceptado. Fue adoptado por la Iglesia pseudocristiana (o Iglesia de los cristianos corrompidos, mayoritaria) como la imagen del universo que estaba de acuerdo con las sagradas escrituras, y que, además, presentaba la gran ventaja de dejar, fuera de la esfera de las estrellas fijas, una enorme cantidad de espacio para el cielo y para el infierno.

Universo aristotélico.

La revista "La Atalaya" del 1-7-2011, páginas 24-28, publicada por la Sociedad Watchtower Bible And Tract, en español, inglés y otros idiomas, bajo el tema "·¿Quién hizo las leyes que rigen el universo?", expone: «"¿Conoces las leyes del universo?" (Job 38: 33, Nueva Traducción Viviente). Con esta pregunta, el Creador ayudó a su angustiado siervo Job a entender que los seres humanos saben muy poco en comparación con él, cuya sabiduría es ilimitada. ¿Qué piensa usted?

El ser humano ha aprendido mucho sobre las leyes que rigen el cosmos, pero la mayoría de los científicos admiten sin reparos que aún les falta mucho por descubrir. Vez tras vez, nuevos hallazgos los obligan a reformular sus teorías sobre el funcionamiento del universo. ¿Qué demuestran estos avances? ¿Que el hombre ya sabe tanto como Dios? ¿O en realidad [justifican la creencia de] que el Autor de las leyes celestes es Jehová [el Todopoderoso]?

En la Biblia encontramos fascinantes declaraciones que contribuyen a responder a estas preguntas. Claro, la Biblia no afirma ser un libro de ciencia. Sin embargo, al hablar de los cielos estrellados, lo que ha dicho es asombrosamente exacto y, con frecuencia, ha estado muy adelantado a su tiempo. [Hagamos] un poco de historia.

Para poner el asunto en perspectiva, remontémonos al siglo IV antes de nuestra era (antes de la EC), un siglo después de completarse la sección hebrea de la Biblia, comúnmente llamada Antiguo Testamento. Por ese entonces, el filósofo griego Aristóteles instruía a los principales eruditos de la época sobre los misterios del cosmos. De hecho, hoy día se le sigue considerando uno de los científicos más influyentes que han existido. Según la Encyclopædia Britannica, "fue el primer verdadero científico de la historia. [...] Todo científico está en deuda con él".

Aristóteles fue el más importante filósofo y científico de la Antigüedad", declara el libro "Los 100. Un ranking de los cien personajes más influyentes de la Historia". Y no es difícil ver por qué se expresa así sobre esta singular figura histórica. Aristóteles (384-322 antes de nuestra era) fue discípulo del célebre filósofo Platón y, posteriormente, tutor del príncipe que llegó a ser conocido como Alejandro Magno. Según antiguos catálogos, su prodigiosa obra incluyó unos 170 trabajos, de los que se conservan 47. Escribió extensamente sobre astronomía, biología, química, zoología, física, geología y psicología. Algunos de los detalles que dejó registrados sobre diversos seres vivos no se volvieron a observar ni estudiar hasta siglos después. "La influencia ejercida por Aristóteles sobre el pensamiento occidental ha sido incalculable", señala el libro ya citado. Y luego añade: "La admiración que se tenía por Aristóteles llegó a tales límites que en el último período de la época medieval rayaba en la idolatría".

Aristóteles elaboró un modelo astronómico en el que la Tierra ocupaba el centro de un universo compuesto por más de cincuenta esferas transparentes, cada una dentro de otra más grande. Las estrellas estaban fijadas a una esfera exterior, mientras que los planetas se situaban en las esferas más próximas a la Tierra. Fuera de nuestro planeta, todo era inmutable y eterno. Estas ideas tal vez nos parezcan ridículas hoy día, pero lo cierto es que influyeron en el pensamiento científico durante dos mil años.

¿Coincide la Biblia con las ideas de Aristóteles? ¿Qué enseñanzas han superado la prueba del tiempo? Analicemos tres preguntas relacionadas con las leyes que rigen el universo. Las respuestas reforzarán nuestra fe en el Autor de la Biblia, el Legislador que promulgó "los estatutos de los cielos" (Job 38: 33).

¿Es rígido el universo? Aristóteles razonó que las esferas celestes debían de ser rígidas. Ni la esfera que mantenía las estrellas en su sitio ni ninguna otra podían contraerse ni expandirse. Pero la Biblia no concuerda con esta conjetura. Aunque es cierto que no hace ninguna declaración dogmática al respecto, sí aporta esta interesante descripción: "Hay Uno que mora por encima del círculo de la tierra, los moradores de la cual son como saltamontes, Aquél que extiende los cielos justamente como una gasa fina, que los despliega como una tienda en la cual morar" (Isaías 40: 22).

¿Qué ha resultado más exacto: el modelo de Aristóteles, o la descripción bíblica? ¿Qué visión del universo tiene la cosmología moderna? En el siglo XX, los astrónomos se sorprendieron al comprobar que el universo no es rígido en absoluto. De hecho, las galaxias parecen alejarse rápidamente unas de otras. Pocos científicos, si acaso alguno, habían imaginado ese proceso expansivo. En la actualidad, los cosmólogos en gene-

ral creen que el universo comenzó en un estado muy compacto y que ha ido expandiéndose desde entonces. De modo que la ciencia ha dejado anticuado el modelo de Aristóteles.

¿Qué puede decirse de la descripción bíblica del universo? No es difícil imaginar al profeta Isaías mirando al cielo elegantemente estrellado y que éste le evocara la imagen de una tienda que se extiende. Incluso podría haber notado el parecido entre la Vía Láctea y "una gasa fina". Las palabras de Isaías nos ayudan a crear imágenes mentales. Pensemos en una tienda de tiempos bíblicos. Quizás visualicemos un fardo pequeño de tela gruesa que se despliega y se extiende para entonces alzarse sobre postes y convertirse en un hogar. De igual manera, podemos imaginar a un mercader que toma un trozo de gasa fina doblada y lo extiende ante la mirada de un posible comprador. En ambos casos, algo relativamente compacto se expande y se vuelve más grande.

Esto no significa que con las imágenes poéticas de una tienda y una gasa fina se pretenda explicar la expansión del cosmos. Pero ¿no es fascinante que la Biblia ofrezca una descripción que encaja tan bien con el conocimiento científico moderno? Isaías vivió más de tres siglos antes que Aristóteles, miles de años antes de que la ciencia tuviera pruebas contundentes de que el universo se expande. No obstante, a diferencia del modelo ideado por Aristóteles, lo que escribió aquel humilde profeta hebreo sigue siendo válido.

¿Qué mantiene los cuerpos celestes en su lugar? Aristóteles creía en un universo compacto. Según él, nuestro planeta y su atmósfera se componían de cuatro elementos: tierra, agua, aire y fuego. El resto del universo estaba lleno de esferas transparentes, todas ellas formadas por una sustancia eterna a la que llamó éter. Los cuerpos celestes estaban fijados a tales esferas invisibles. Este concepto cautivó durante mucho tiempo a los hombres de ciencia, pues parecía satisfacer una premisa básica: un objeto debe reposar sobre algo o colgar de algo, porque de lo contrario se caerá. ¿Decía la Biblia algo a este respecto? Pues bien, en ella leemos las palabras que el fiel Job declaró en cuanto a Jehová: "Él está [...] colgando la tierra sobre nada" (Job 26: 7). Sin duda, Aristóteles se hubiera reído de esa idea.

En el siglo XVII, unos tres mil años después de los días de Job, los científicos en general sostenían que el universo estaba lleno, no de esferas cristalinas, sino de algún tipo de fluido. A finales de ese mismo siglo, el famoso físico Isaac Newton propuso una idea muy distinta: los cuerpos celestes se atraían debido a la fuerza de la gravedad. Estaba un paso más cerca de entender que la Tierra y los demás astros en realidad se hallan suspendidos en el espacio vacío, a simple vista "sobre nada".

La teoría de Newton se topó con mucha oposición. A muchas mentes científicas aún les costaba visualizar que los cuerpos celestes no se mantuvieran en su lugar sujetos a algo sólido. ¿Cómo podía ser que un planeta tan pesado como el nuestro y los demás astros sencillamente flotaran en el espacio? Para algunos, ese concepto parecía sobrenatural. Desde los tiempos de Aristóteles, casi todos los hombres de ciencia habían creído que el espacio debía estar lleno de algo. Por supuesto, Job no sabía nada de las leyes invisibles que mantienen a la Tierra en una órbita estable alrededor del Sol. ¿Qué fue, entonces, lo que lo llevó a decir que nuestro planeta está colgando "sobre nada"?

Además, la idea de que la Tierra no se apoya sobre nada hace surgir otra cuestión: ¿qué mantiene en su rumbo a nuestro planeta y los demás astros? Fíjese en las significativas palabras que Dios dirigió a Job: "¿Puedes tú atar firmemente las ligaduras de la constelación Kimá, o puedes desatar las cuerdas mismas de la constelación Kesil?" (Job 38: 31). En su larga vida, Job pudo ver cómo esas conocidas formaciones estelares surcaban el cielo durante la noche. Pero ¿por qué siempre se veían en la misma posición, año tras año, década tras década? ¿Qué ataduras las sujetaban a ellas y a todos los demás cuerpos celestes en sus posiciones re-

lativas? Sin duda, Job se sentiría impresionado al meditar en ello.

Si las estrellas estuvieran sujetas a esferas celestes, no habría necesidad de tales ataduras. Hubieron de transcurrir miles de años para que los científicos empezaran a descubrir las invisibles "ligaduras" o "cuerdas" que mantienen los astros juntos en su larga y pausada procesión en la negrura del espacio sideral. Isaac Newton y luego Albert Einstein se hicieron famosos por sus descubrimientos en este campo. Claro está, Job ignoraba por completo las fuerzas que Dios emplea para mantener juntos los cuerpos celestes. Sin embargo, las palabras inspiradas del libro de Job han superado la prueba del tiempo mucho mejor que las teorías de Aristóteles. Únicamente Dios, el gran Legislador, podía tener ese conocimiento.

¿Es eterno el universo, o se deteriora? Según Aristóteles, había una enorme diferencia entre los cielos y la Tierra. Este planeta —decía— estaba sujeto a cambio, decadencia y deterioro, mientras que el éter del que estaban hechos los cielos estrellados era inmutable y eterno. Sus esferas transparentes y los cuerpos celestes sujetos a ellas jamás cambiarían ni se consumirían ni morirían. ¿Es eso lo que enseña la Biblia? Salmo 102: 25-27 declara: "Hace mucho tú colocaste los fundamentos de la tierra misma, y los cielos son la obra de tus manos. Ellos mismos perecerán, pero tú mismo quedarás en pie; e igual que una prenda de vestir todos ellos se gastarán. Igual que ropa los reemplazarás, y ellos terminarán su turno. Pero tú eres el mismo, y tus propios años no se completarán".

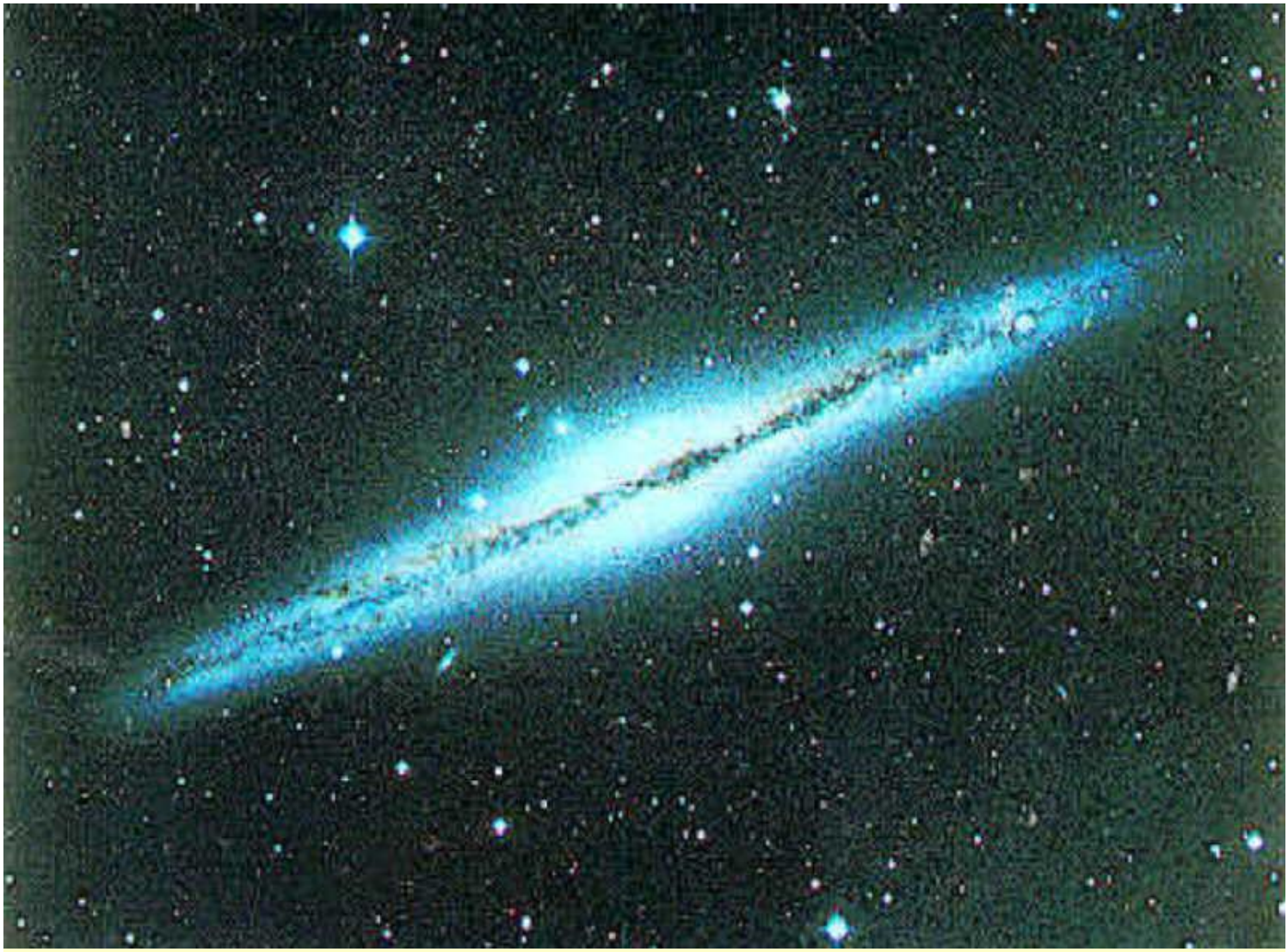
Observe que este salmista, quien quizás vivió dos siglos antes que Aristóteles, no establece un contraste entre la Tierra y los cielos estrellados; no dice que estos sean eternos y que nuestro planeta esté en decadencia. Más bien, establece que ambos —los cielos y la Tierra— están en contraste con Dios, el poderoso Espíritu que dirigió su creación. Por tanto, este salmo parece indicar que las estrellas se deterioran igual que cualquier cosa que haya sobre la Tierra. ¿Y qué ha descubierto la ciencia moderna?

La geología apoya tanto a la Biblia como a Aristóteles en la idea de que la Tierra se va desgastando. De hecho, las rocas de la superficie sufren una continua erosión y son reemplazadas debido a la actividad volcánica y otros fenómenos geológicos. Pero ¿y las estrellas? ¿Se deterioran como da a entender la Biblia, o son eternas como enseñó Aristóteles?

Los astrónomos europeos comenzaron a dudar de la teoría aristotélica en el siglo XVI, cuando por primera vez observaron una supernova, es decir, la espectacular explosión de una estrella. Desde entonces, los científicos han comprobado que las estrellas pueden morir explotando violentamente, apagándose poco a poco o incluso contrayéndose víctimas de su propia gravedad. Sin embargo, los astrónomos también han observado la formación de nuevas estrellas en "viveros estelares", es decir, nubes de gas que se ven enriquecidas por las explosiones de viejas estrellas. Por lo tanto, la imagen que pintó el escritor bíblico de una prenda de vestir que se desgasta y se cambia por otra es muy apropiada. ¿No es asombroso que las palabras de este salmista de tiempos antiguos encajen tan bien con los descubrimientos modernos?

Entonces, ¿enseña la Biblia que llegará un día en que la Tierra y los cielos estrellados dejarán de existir o necesitarán ser reemplazados? Al contrario, promete que durarán para siempre (Salmo 104: 5; 119: 90). Sin embargo, eso no se deberá a que tales creaciones sean eternas por naturaleza, sino a que Dios promete que las mantendrá en existencia (Salmo 148: 4-6). Aunque él no ha dicho cómo las sustentará, ¿no es razonable concluir que el Creador del universo tiene el poder para hacerlo? Sería como un buen constructor que mantiene con esmero la casa que construyó para él y su familia.

¿[Hay Alguien que merezca] la gloria y la honra [por todas estas cosas]? Tras analizar algunas de las leyes que gobiernan el cosmos, la respuesta a esta cuestión [parece quedar bastante] clara. ¿Verdad que nos llena de admiración meditar en [la indescriptible obra de ingeniería cósmica de] Aquél que extiende las incontables estrellas en la inmensidad del espacio, las mantiene en su sitio con la fuerza de la gravedad y las sostiene mediante ciclos que se repiten sin fin? Quizás las palabras de Isaías 40: 26 expresen del mejor modo posible los motivos de tal admiración: "Levantad los ojos a lo alto y ved. ¿Quién ha creado estas cosas? Es Aquél que saca el ejército de ellas aun por número, todas las cuales él llama aun por nombre". Las estrellas se comparan a un ejército con una enorme cantidad de soldados. Sin las órdenes de un comandante, ese ejército no sería más que una multitud caótica, en confusión. De igual modo, sin las leyes que Jehová estableció, los planetas, las estrellas y las galaxias no seguirían patrones fijos y todo sería un caos. En vez de eso, imagine un ejército de miles de millones y a un Comandante que no solo ordena los movimientos de sus tropas, sino que conoce al dedillo el nombre y las circunstancias de cada soldado.



Las leyes de los cielos nos dan una idea del conocimiento ilimitado de tal Comandante. ¿Quién más habría podido decretarlas? ¿Quién más pudo haber inspirado escritos tan exactos sobre temas que los científicos entendieron cientos e incluso miles de años después? [Tras meditar en estos asuntos, quizás queden pocas dudas de que] el universo está lleno de razones por las que Jehová [Dios, el Todopoderoso, se ha hecho acreedor de] "la gloria y la honra" [que las criaturas inteligentes suelen conceder a los genios que se admiran, como cuando se les otorga el premio Nobel] (Revelación [Apocalipsis] 4:11).

Puntualizaciones: Es notable que la Biblia declare que la Tierra es un círculo o, como también puede

traducirse el vocablo hebreo, una esfera. Aristóteles y otros pensadores griegos de la antigüedad sostuvieron que era esférica, pero esta cuestión seguía debatiéndose dos mil años más tarde. La constelación Kimá (de Job 38: 31) podría ser el grupo de estrellas conocido como las Pléyades; y es probable que la constelación Kesil haga referencia a Orión; los cambios que se producen en estas formaciones estelares tardan decenas de miles de años en ser perceptibles. En el siglo XIX, el científico William Thomson, conocido como lord Kelvin, descubrió la segunda ley de la termodinámica, que explica por qué los sistemas naturales tienden a deteriorarse y disgregarse con el transcurso del tiempo; un factor que lo inspiró para llegar a esa conclusión fue estudiar con detenimiento el pasaje de Salmo 102: 25-27».

Los epiciclos.

El "epiciclo" (del griego "epi", sobre, y "kyklos", círculo; que, en conjunto, significa "sobre el círculo") fue la base de un modelo geométrico ideado por los antiguos griegos para explicar las variaciones en la velocidad y la dirección del movimiento aparente de la Luna, el Sol y los planetas. Fue propuesto por primera vez por Apolonio de Perga a finales del siglo II antes de la EC y usado ampliamente en el siglo II antes de la EC por Hiparco de Nicea. Casi tres siglos después, el también astrónomo griego Claudio Ptolomeo se basó en él para elaborar su versión de la teoría geocéntrica conocida ahora como "sistema ptolemaico".

Con la mejora de las observaciones en los siglos siguientes, fue necesario ir añadiendo cada vez más círculos al modelo para adecuarlo a los hechos, llegando a ser impracticable. Con el advenimiento de la teoría heliocéntrica de Nicolás Copérnico y la explicación del movimiento planetario en órbitas elípticas, por Hipatia de Alejandría y replanteado por Johannes Kepler, el modelo de los epiciclos quedó obsoleto.

El capítulo 9 de la serie televisiva "El universo mecánico" (coproducción del Instituto Tecnológico de California y la Corporación Americana para la Enseñanza Oficial por Televisión, 1985), titulado "El círculo en movimiento", presentado por el profesor David L. Goodstein (del Caltech), comenta, en parte, lo siguiente:

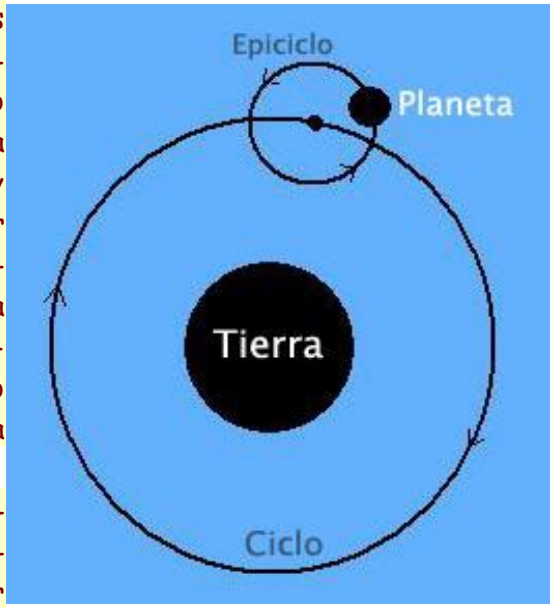
«Un cuerpo con movimiento circular uniforme posee una velocidad y aceleración constantes. El movimiento circular uniforme puede describir la órbita de la Luna. No sabemos quién inventó la rueda, pero el círculo fue un concepto que surgió en la mente de la mayoría de los hombres al comienzo de la historia. Al principio, parece que tenía un significado místico asociado con el horizonte, el cielo o los dioses. Los mitos, con el tiempo, fueron convirtiéndose en complicadas tradiciones y lenguaje fantástico, y algunos de éstos llegaron a ser conocidos como "filosofías".

Los griegos no eran místicos, sino filósofos (un grado más avanzado de pensamiento, si se quiere, pero no desprendido de su origen mitológico). Veían círculos en el cielo como todos los demás hombres, pero para ellos no representaban mitos creativos sino geometría. Imaginaban el universo lleno de esferas girando sobre sus ejes, al grado que los movimientos que observaban les parecían que de algún modo eran movimientos circulares más o menos complejos. Es por eso que el filósofo Platón dijo: "Todos los movimientos son uniformes y circulares en el firmamento". Y los astrónomos se pasaron los siguientes dos mil años tratando de demostrar que Platón tenía razón.

La astronomía era una profesión con una misión que cumplir en la sociedad, a saber: predecir dónde podría encontrarse cada cuerpo celeste en un momento determinado, de determinada noche. Se trataba de predicciones importantes, ya que se usaban para la agricultura, la navegación y sobretodo para la confección de

horóscopos. En cualquier caso, los astrónomos se esforzaban mucho por hacer previsiones fiables, pues cualquiera podía mirar al cielo y comprobar si tenían o no razón. Además, no olvidemos que en la antigüedad la gente se pasaba mucho más tiempo que nosotros hoy mirando al cielo y sintiéndose fascinada por él.

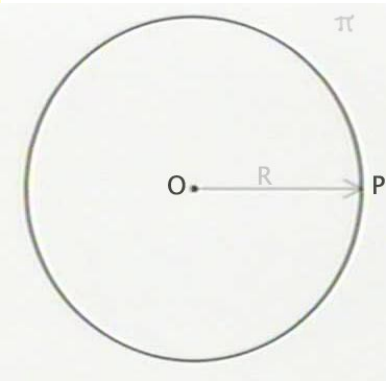
Así, utilizando alguna clase de método, tenían que predecir dónde estaban los astros y tenían que llevar razón; y esto no era nada fácil. En el caso de las estrellas, las predicciones eran relativamente sencillas, ya que éstas, sin excepción, parecían moverse en círculos alrededor de nuestro planeta. Pero había otros cuerpos celestes bastante problemáticos, allá arriba, a los que los griegos llamaron "planetas", que significa "vagabundos"; y para éstos las teorías no funcionaban. Por una parte, no se movían por el firmamento con velocidad constante; y por otra parte, no se movían en la misma dirección: partían, iniciaban la vuelta y retrocedían a veces. Además, dos de ellos, Mercurio y Venus, parecían estar siempre muy cerca del Sol, a diferencia de los otros; y, finalmente, no siempre refulgían con el mismo brillo, es decir, no siempre estaban a la misma distancia de la Tierra.



Sin embargo, Platón había dicho machaconamente que todos esos movimientos eran debidos a desplazamientos circulares uniformes; y esto era lo que los astrónomos debían respetar y perfeccionar en sus métodos. Para tal efecto, idearon un sistema que funcionó notablemente bien por cierto tiempo, basado no en círculos alrededor de la Tierra, sino en círculos alrededor de otros círculos, a los que llamaron "epiciclos"».

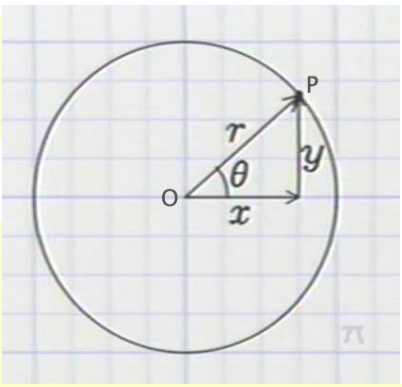
En la tarea de tratar de explicar los fenómenos mecánicos celestes (movimientos de los astros), así como en el desempeño muchas otras labores que exigen una considerable implicación intelectual, el ser humano siempre ha usado como herramientas iniciales los insoslayables conceptos disponibles según el nivel de madurez mental y según la influencia cultural a la que se encontraba sometido. A partir de ahí, ha tenido que ir refinando progresivamente los conceptos, dado que éstos siempre se le quedaban cortos de cara a subir un peldaño más en el progreso del conocimiento científico. Y hoy día, a pesar del formidable avance de la ciencia, la situación es bastante similar, en el sentido de que se están usando los conceptos o modelos mejor habilitados del momento presente, sabiendo de antemano que en breve requerirán su reemplazo o reforma en el interés de poder alcanzar mejores cotas futuras de comprensión del mundo natural.

La historia de la ciencia nos presenta doctrinas y teorías antiguas que actualmente suenan del todo ridículas e irrisorias, pero que en su día fueron la vanguardia del conocimiento académico. El audiovisual que estamos considerando (el capítulo 9 del "universo mecánico"), explica: «Es probable que todas las culturas antiguas hayan descubierto el círculo. Los nativos americanos (amerindios) adoraban al sol, y caminaban en círculos simbólicos alrededor de una representación del mismo. Los hindúes advirtieron lo que parece ser el movimiento circular del firmamento, tal como hicieron los indios "quechuas" del Perú y los primeros astrónomos japoneses. Las formas y formaciones celestes se convirtieron en modelo para las estructuras terrestres.



Algunas de las primeras construcciones de Mesopotamia tenían planta circular. Hasta la mano de un individuo perteneciente a cualquier cultura primitivesca podía trazar círculos; y, si bien se puede expresar en el más sofisticado lenguaje matemático, el concepto sigue siendo relativamente sencillo. El radiovector R desde el centro O de un plano π a cualquier punto P de una circunferencia tiene siempre la misma longitud. Esta sencillez forma parte de su atractivo, y partiendo de ideas tan sencillas como ésta brotaron magníficas estructuras arquitectó-

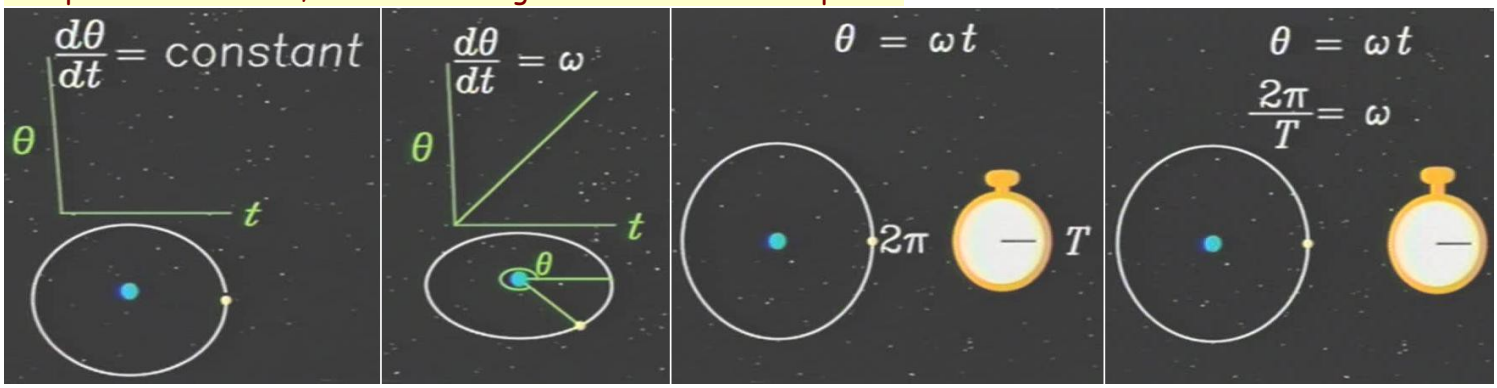
nicas. Proliferaron imágenes que luego se hicieron más elaboradas y embellecidas. Y en todo ello, los humanos trataban de imitar a la naturaleza a su manera.



La posición de cualquier punto P de una circunferencia en un plano π se puede expresar mediante sus coordenadas cartesianas (x,y), o por su distancia r, desde el centro O hasta P, y el ángulo θ que r forma con el eje X. Estas descripciones están relacionadas con la trigonometría de la siguiente manera:

$$x = r \cos \theta; \quad y = r \operatorname{sen} \theta.$$

Cualquier persona con talento para las figuras geométricas, ve en el círculo un símbolo poderoso, inherente al universo y a la mayoría de las civilizaciones. En algunas culturas, la forma circular del firmamento y los movimientos celestes circulares son tan manifiestos hoy como lo fueron siempre. Platón, el filósofo griego, proclamó el círculo como ideal y sostuvo que todas las otras formas geométricas eran representaciones inferiores e imperfectas. Decidió que el movimiento circular describe el firmamento, y no meramente el movimiento circular sino más bien el "movimiento circular uniforme". Así, cada cuerpo celeste sería como un punto moviéndose en un círculo a ritmo constante. Visto de otro modo, el vector r formaría un ángulo θ que crece a ritmo constante. Y ese ritmo ω (omega) se conoce como "velocidad angular" del objeto. En cualquier instante, el ángulo θ (theta) es igual a ωt. Y en una vuelta completa, el objeto recorre 2π radianes en un tiempo T. Por lo tanto, la velocidad angular ω es 2π dividido por T:

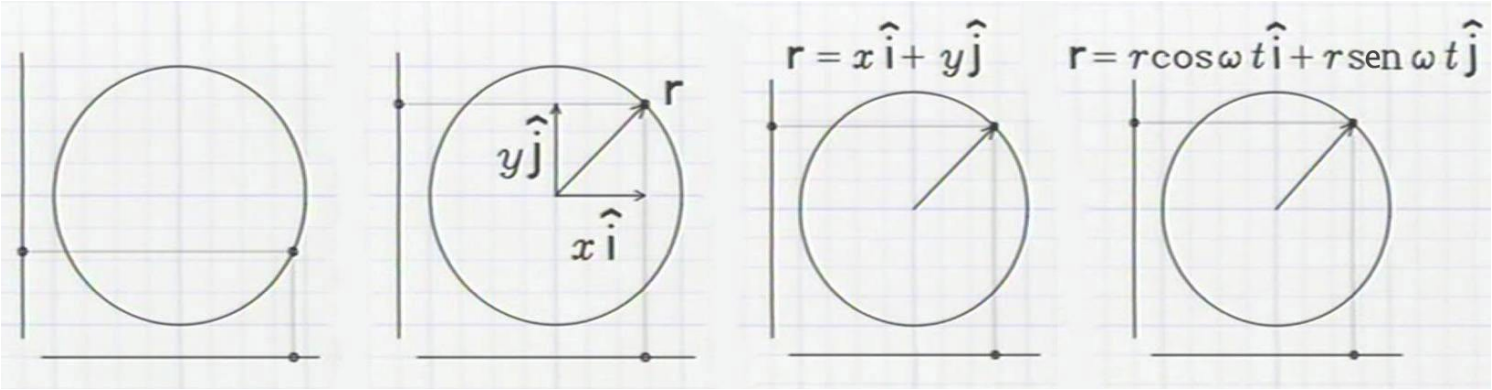


Platón decía a menudo que Dios tenía la costumbre de hacer geometría, y tal vez ése era el motivo por el que sus ideales de la perfección y del universo en armonía pulsaron una cuerda que encontró eco en los eruditos y místicos durante siglos. Para Platón, el universo físico estaba limitado por una esfera giratoria de estrellas fijas cuyo centro es la Tierra, quieta e inmóvil. Y dentro de la esfera de estrellas fijas, desplazándose en trayectorias regulares y con movimiento uniforme individual, había 7 planetas: Luna, Venus, Mercurio, Sol, Marte, Júpiter y Saturno; en ese orden, y extendiéndose desde dentro hacia afuera.

Los astrónomos griegos veían a los planetas como cuerpos sin rumbo fijo; tanto es así que la misma palabra "planeta" significa "vagar, extraviar o engañar". Los planetas eran engañosos porque rehusaban obedecer el dictamen de perfección de Platón, a saber, el movimiento circular uniforme. Sin embargo, ese ideal platónico fue aceptado con el tiempo por los grandes pensadores europeos. ¿Y por qué no? ¿Acaso no tienen mucho en común, con los planetas, las clases dirigentes y las gentes sencillas? De hecho, ¿no es la conducta humana, como la de los planetas, con frecuencia desigual? Y, bajo ciertas condiciones, ¿no tendemos los humanos, tal como hacen los planetas, a vagar o a ser engañosos?

Pero en la época del Renacimiento, por supuesto, no se criticaba a los planetas ni a las personas nobles por el hecho de no ser perfectos. Tal vez debería ser así, después de todo, ya que en la Tierra, como en el cielo, el comportamiento desigual no significa necesariamente imperfección. La perfección, parece ser, está en los ojos del observador, y así es la realidad misma. De este modo, incluso en el mejor de los mundos: ¿es posible, a simple vista, contemplar perfectamente la realidad? No siempre. A veces las percepciones pueden

ser sombras de la realidad. Por ejemplo, algo que sube y baja puede estar en realidad moviéndose en círculos. En el lenguaje de los vectores, la sombra (proyección) de un movimiento es sólo uno de sus componentes. El movimiento circular tiene realmente 2 componentes separados, y el vector original es la suma de ambos; y por este motivo el movimiento circular puede ser expresado por una ecuación vectorial:



El movimiento de los planetas, visto sobre el fondo de las estrellas, era bastante complicado; porque los planetas parecían contradecir la idea del movimiento circular uniforme. Por ello, los seguidores de Platón crearon modelos teóricos de movimientos planetarios, intentando desesperadamente salvar las apariencias. En otras palabras, intentaron hacer compatible el comportamiento observado con la idea platónica. Y uno de esos intentos fue hecho por Apolonio de Pérgamo mediante un invento teórico llamado "epiciclo", según el cual los planetas se movían en pequeños círculos ligados a un círculo mayor que también giraba. Al círculo mayor le llamó "deferente", y al círculo menor le llamó "epiciclo".

En las manos de un matemático, esta combinación de movimientos circulares propuestos por Apolonio puede generar muchas curvas extrañas. Por ejemplo, visto desde la Tierra, un planeta que siguiera este tipo de trayectorias parecería comportarse de manera estrambótica. En los casos más sencillos, si el deferente y el epiciclo giran con velocidades ω iguales la curva resultante es otro círculo cuyo centro está desplazado de la posición que ocupa la Tierra; y si el epiciclo gira exactamente a doble velocidad (2ω) que el deferente, el resultado es una curva regular llamada "elipse"; y la elipse sería más tarde reconocida como la verdadera órbita de un planeta alrededor del Sol.

Apolonio escribió un famoso tratado sobre curvas, una de las cuales, irónicamente, era la elipse. Pero la antigua astronomía llegó a su punto culminante 400 años más tarde, en la colonia romana de Alejandría, ciudad reina de Egipto. En esa ciudad de fábula vivía Claudio Ptolomeo, hombre talentoso que recopiló el Almagesto, una enciclopedia de 13 extraordinarios volúmenes que condensaba 5 siglos de ciencia griega.

Ptolomeo no sólo se adhirió fervorosamente a la teoría de la perfección de Platón, sino que además añadió a ella algunas de sus propias ideas para solidificarla. Por ejemplo, según este astrónomo, los deferentes de los planetas superiores (Marte, Júpiter y Saturno) no giraban con ritmos uniformes alrededor de sus centros, y había una órbita oval para Mercurio. No obstante, a pesar de los sorprendentes que eran las variaciones introducidas por Ptolomeo, se encontraban perdidas como simples notas esotéricas a pie de página en todo el conjunto del Almagesto. Y, por supuesto, estaban también enormemente influidas por ese decisivo prin-

cipio de los astrónomos griegos: el sistema cósmico se basa totalmente en el movimiento circular uniforme.

Las variaciones ptolemaicas encajadas en la teoría de la perfección de Platón eran relativamente sutiles, pero tuvieron un efecto profundo en Nicolás Copérnico, quien, queriendo reorganizar el Almagesto, situó al Sol en el centro del sistema solar. Y, utilizando epiciclos con liberalidad, se las arregló para salvar las apariencias. Pero a pesar de los epiciclos, el universo de Copérnico tenía planetas moviénose alrededor del Sol y la Luna girando alrededor de la Tierra, con movimiento circular casi uniforme. Así que, con el fin de mantener las preferencias estéticas tradicionales, creó una visión más nueva y más exacta del sistema solar, a saber: el "sistema copernicano"».

Desde Copérnico hasta hoy.

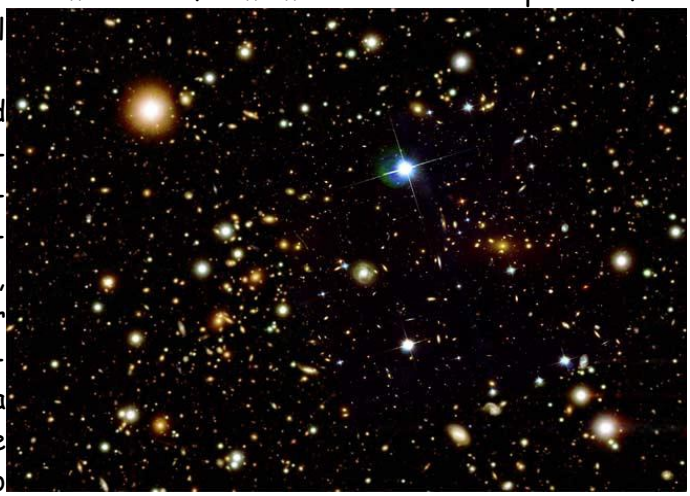
Un modelo más simple que el ptolemaico se estaba haciendo muy necesario, y éste fue propuesto en el año 1514 por un cura polaco llamado Nicolás Copérnico (quien al principio, quizás por miedo a ser tildado de hereje por su propia iglesia, hizo circular su modelo de forma anónima). Su idea era que el Sol estaba estacionario en el centro y que la Tierra y los planetas se movían en órbitas circulares a su alrededor. Pasó casi un siglo antes de que su idea fuera tomada verdaderamente en serio. Entonces dos astrónomos, el alemán Johannes Kepler y el italiano Galileo Galilei, empezaron a apoyar públicamente la teoría copernicana, a pesar de que las órbitas que predecía no se ajustaban fielmente a las observadas. El golpe mortal a la teoría aristotélico/ptolemaica llegó en 1609. En ese año, Galileo comenzó a observar el cielo nocturno con un telescopio que acababa de inventar. Cuando miró al planeta Júpiter, Galileo encontró que éste estaba acompañado por varios pequeños satélites o lunas que giraban a su alrededor. Esto implicaba que no todo tenía que girar directamente alrededor de la Tierra, como Aristóteles y Ptolomeo habían supuesto. Al mismo tiempo, Johannes Kepler había modificado la teoría de Copérnico, sugiriendo que los planetas no se movían en círculos, sino en elipses. Las predicciones, ahora, se ajustaban por fin a las observaciones.

Desde el punto de vista de Kepler, las órbitas elípticas constituían meramente una hipótesis, y, de hecho, una hipótesis bastante desagradable, ya que las elipses eran claramente menos perfectas que los círculos. Kepler, al descubrir casi por accidente que las órbitas elípticas se ajustaban bien a las observaciones, no pudo reconciliarlas con su idea de que los planetas estaban concebidos para girar alrededor del Sol atraídos por fuerzas magnéticas. Una explicación coherente sólo fue proporcionada mucho más tarde, en 1687, cuando sir Isaac Newton publicó su "Philosophiae Naturalis Principia Mathematica", probablemente la obra más importante publicada en las ciencias físicas en todos los tiempos. En ella, Newton no sólo presentó una teoría de cómo se mueven los cuerpos en el espacio y en el tiempo, sino que también desarrolló las complicadas matemáticas necesarias para analizar esos movimientos. Además, Newton postuló una ley de la gravitación universal, de acuerdo con la cual cada cuerpo en el universo era atraído por cualquier otro cuerpo con una fuerza que era tanto mayor cuanto más masivos fueran los cuerpos y cuanto más cerca estuvieran el uno del otro. Era esta misma fuerza la que hacía que los objetos cayeran al suelo. Newton pasó luego a mostrar que, de acuerdo con su ley, la gravedad es la causa de que la Luna se mueva en una órbita elíptica alrededor de la Tierra, y de que la Tierra y los planetas sigan caminos elípticos alrededor del Sol.

El modelo copernicano se despojó de las esferas celestes de Ptolomeo y, con ellas, de la idea de que el universo tiene una frontera natural. Ya que las "estrellas fijas" no parecían cambiar sus posiciones, aparte de

una rotación a través del cielo causada por el giro de la Tierra sobre su eje, llegó a ser natural suponer que las estrellas fijas eran objetos como nuestro Sol, pero mucho más lejanos.

Newton comprendió que, de acuerdo con su teoría de la gravedad, las estrellas deberían atraerse unas a otras, de forma que no parecía posible que pudieran permanecer esencialmente en reposo. ¿No llegaría un determinado momento en el que todas ellas se aglutinarían? En 1691, en una carta a Richard Bentley, otro destacado pensador de la época, Newton argumentaba que esto verdaderamente sucedería si sólo hubiera un número finito de estrellas distribuidas en una región finita del espacio. Pero razonaba que si, por el contrario, hubiera un número infinito de estrellas, distribuidas más o menos uniformemente sobre un espacio infinito, ello no sucedería, porque no habría ningún punto central donde aglutinarse.



Este argumento es un ejemplo del tipo de dificultad que uno puede encontrar cuando se discute acerca del infinito. En un universo infinito, cada punto puede ser considerado como el centro, ya que todo punto tiene un número infinito de estrellas a cada lado. La aproximación correcta, que sólo fue descubierta mucho más tarde, es considerar primero una situación finita, en la que las estrellas tenderían a aglutinarse, y preguntarse después cómo cambia la situación cuando uno añade más estrellas uniformemente distribuidas fuera de la región considerada. De acuerdo con la ley de Newton, las estrellas extra no producirían, en general, ningún cambio sobre las estrellas originales, que por lo tanto continuarían aglutinándose con la misma rapidez. Podemos añadir tantas estrellas como queramos, y a pesar de ello las estrellas originales seguirían juntándose indefinidamente. Esto nos asegura que es imposible tener un modelo estático e infinito del universo, en el que la gravedad sea siempre atractiva.

Un dato interesante sobre la corriente general del pensamiento anterior al siglo XX es que nadie hubiera sugerido que el universo se estuviera expandiendo o contrayendo. Era generalmente aceptado que el universo o bien había existido por siempre en un estado inmóvil, o bien había sido creado, más o menos como lo observamos hoy, en un determinado tiempo pasado finito. En parte, esto puede deberse a la tendencia que tenemos las personas a creer en verdades eternas. Bien pudiera suceder que ese sentimiento de conexión con la eternidad radique fundamentalmente en la percatación mental subliminal de que existe una ruptura anómala entre nuestra elevada capacidad pensante, apta para poder asumir cualquier desafío intelectual por tiempo indefinido, y la ridícula fracción de tiempo que vive el individuo. Y tal vez por avistar esa anomalía, los antiguos filósofos griegos, como Sócrates y Platón, elaboraron doctrinas acerca de la inmortalidad del alma humana, las cuales han perdurado en el ámbito teológico hasta el día de hoy.

Incluso aquéllos que comprendieron que la teoría de la gravedad de Newton mostraba que el universo no podía ser estático, no pensaron en sugerir que podría estar expandiéndose. Por el contrario, intentaron modificar la teoría suponiendo que la fuerza gravitacional fuese repulsiva a distancias muy grandes. Ello no afectaba significativamente a sus predicciones sobre el movimiento de los planetas, pero permitía que una distribución infinita de estrellas pudiera permanecer en equilibrio, con las fuerzas atractivas entre estrellas cercanas equilibradas por las fuerzas repulsivas entre estrellas lejanas. Sin embargo, hoy en día creemos que tal equilibrio sería inestable: si las estrellas en alguna región se acercaran sólo ligeramente unas a otras, las fuerzas atractivas entre ellas se harían más fuertes y dominarían sobre las fuerzas repulsivas, de forma que las estrellas, una vez que empezaran a aglutinarse, lo seguirían haciendo por siempre. Por el contrario, si las estrellas empezaran a separarse un poco entre sí, las fuerzas repulsivas dominarían alejando indefinidamente a unas estrellas de otras.

Otra objeción a un universo estático infinito es normalmente atribuida al filósofo alemán Heinrich Ol-

bers, quien escribió acerca de dicho modelo en 1823. En realidad, varios contemporáneos de Newton habían considerado ya el problema, y el artículo de Olbers no fue ni siquiera el primero en contener argumentos plausibles en contra del anterior modelo. Fue, sin embargo, el primero en ser ampliamente conocido. La dificultad a la que nos referíamos estriba en que, en un universo estático infinito, prácticamente cada línea de visión acabaría en la superficie de una estrella. Así, sería de esperar que todo el cielo fuera, incluso de noche, tan brillante como el Sol. El contraargumento de Olbers era que la luz de las estrellas lejanas estaría oscurecida por la absorción debida a la materia intermedia. Sin embargo, si eso sucediera, la materia intermedia se calentaría, con el tiempo, hasta que iluminara de forma tan brillante como las estrellas. La única manera de evitar la conclusión de que todo el cielo nocturno debería de ser tan brillante como la superficie del Sol sería suponer que las estrellas no han estado iluminando desde siempre, sino que se encendieron en un determinado instante pasado finito. En este caso, la materia absorbente podría no estar caliente todavía, o la luz de las estrellas distantes podría no habernos alcanzado aún. Y esto nos conduciría a la cuestión de qué podría haber causado el hecho de que las estrellas se hubieran encendido por primera vez.

El principio del universo había sido discutido, desde luego, mucho antes de esto. De acuerdo con distintas cosmologías primitivas y con la tradición judeo-cristiano-musulmana, el universo comenzó en cierto tiempo pasado finito, y no muy distante. Un argumento en favor de un origen tal fue la sensación de que era necesario tener una Causa Primera para explicar la existencia del universo (dentro del universo, uno siempre explica un acontecimiento como causado por algún otro acontecimiento anterior, pero la existencia del universo en sí, sólo podría ser explicada de esta manera si tuviera un origen). Otro argumento lo dio Agustín en su libro "La ciudad de Dios". Señalaba que la civilización está progresando y que podemos recordar quién realizó esta hazaña o desarrolló aquella técnica. Así, el hombre, y por lo tanto quizás también el universo, no podía haber existido desde mucho tiempo atrás. San Agustín, de acuerdo con el libro del Génesis, aceptaba una fecha de unos 5.000 años antes de Cristo para la creación del universo.

Aristóteles, y la mayor parte del resto de los filósofos griegos, no era partidario, por el contrario, de la idea de la creación, porque sonaba demasiado a intervención divina. Ellos creían, por consiguiente, que la ra-

za humana y el mundo que la rodea habían existido, y existirían, por siempre. Los antiguos ya habían considerado el argumento descrito arriba acerca del progreso, y lo habían resuelto diciendo que había habido inundaciones periódicas u otros desastres que repetidamente situaban a la raza humana en el principio de la civilización.

Las cuestiones de si el universo tiene un principio en el tiempo y de si está limitado en el espacio fueron posteriormente examinadas de forma extensiva por el filósofo Immanuel Kant en su monumental (y muy oscura) obra "Crítica de la razón pura", publicada en el año 1781. Él llamó a estas cuestiones antinomias (es decir, contradicciones) de la razón pura, porque le parecía que había argumentos igualmente convincentes para creer tanto en la tesis, que el universo tiene un principio, como en la antítesis, que el universo siempre había existido. Su argumento en favor de la tesis era que si el universo no hubiera tenido un principio, habría habido un período de tiempo infinito anterior a cualquier acontecimiento, lo que él consideraba absurdo. El argumento en pro de la antítesis era que si el universo hubiera tenido un principio, habría habido un período de tiempo infinito anterior a él, y de este modo, ¿por qué habría de empezar el universo en un tiempo particular cualquiera? De hecho, sus razonamientos en favor de la tesis y de la antítesis son realmente el mismo argumento. Esto ya había sido señalado en primer lugar por Agustín. Cuando se le preguntó: ¿Qué hacía Dios antes de que creara el universo?, Agustín no respondió: ¿sintió entonces el impulso de preparar la doctrina del infierno para aquéllos que osaran preguntar sobre tales cuestiones? No lo sabemos, pero parece que esquivó con destreza el requerimiento y dijo que el tiempo es una propiedad del universo creado por Dios, y que el tiempo no existía con anterioridad al principio del universo.

Cuando la mayor parte de la gente creía en un universo esencialmente estático e inmóvil, la pregunta de si éste tenía, o no, un principio era realmente una cuestión de carácter metafísico o teológico. Se podían explicar igualmente bien todas las observaciones tanto con la teoría de que el universo siempre había existido, como con la teoría de que había sido puesto en funcionamiento en un determinado tiempo finito, de tal forma que pareciera como si hubiera existido desde siempre. Pero, en 1929, Edwin Hubble hizo la observación crucial de que, donde quiera que uno mire, las galaxias distantes se están alejando de nosotros. O en otras palabras, el universo se está expandiendo. Esto significa que en épocas anteriores los objetos deberían de haber estado más juntos entre sí. De hecho, parece ser que hubo un tiempo, hace unos diez o veinte mil millones de años, en que todos los objetos estaban en el mismo lugar exactamente, y en el que, por lo tanto, la densidad del universo era infinita. Fue dicho descubrimiento el que finalmente llevó la cuestión del principio del universo a los dominios de la ciencia.

Las observaciones de Hubble sugerían que hubo un tiempo, llamado el "big bang" (gran explosión o explosión primordial), en que el universo era infinitésimamente pequeño e infinitamente denso. Para poder analizar la naturaleza del universo, y poder discutir cuestiones tales como si ha habido un principio o si habrá un final, es necesario tener claro lo que es una teoría científica. Consideremos aquí un punto de vista ingenuo, en el que una teoría es simplemente un modelo del universo, o de una parte de él, y un conjunto de reglas que relacionan las magnitudes del modelo con las observaciones que realizamos. Esto sólo existe en nuestras mentes, y no tiene ninguna otra realidad (cualquiera que sea lo que esto pueda significar). Una teoría es una buena teoría siempre que satisfaga dos requisitos: debe describir con precisión un amplio conjunto de observaciones sobre la base de un modelo que contenga sólo unos pocos parámetros arbitrarios, y debe ser capaz de

predecir positivamente los resultados de observaciones futuras. Por ejemplo, la teoría de Aristóteles de que todo estaba constituido por cuatro elementos, tierra, aire, fuego y agua, era lo suficientemente simple como para ser cualificada como tal, pero fallaba en que no realizaba ninguna predicción concreta. Por el contrario, la teoría de la gravedad de Newton estaba basada en un modelo incluso más simple, en el que los cuerpos se atraían entre sí con una fuerza proporcional a una cantidad llamada masa e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellos, a pesar de lo cual era capaz de predecir el movimiento del Sol, la Luna y los planetas con un alto grado de precisión.

Cualquier teoría física es siempre provisional, en el sentido de que es sólo una hipótesis: nunca se puede probar. A pesar de que los resultados de los experimentos concuerden muchas veces con la teoría, nunca podremos estar seguros de que la próxima vez el resultado no vaya a contradecirla. Sin embargo, se puede rechazar una teoría en cuanto se encuentre una única observación que contradiga sus predicciones. Como ha subrayado el filósofo de la ciencia Karl Popper, una buena teoría está caracterizada por el hecho de predecir un gran número de resultados que en principio pueden ser refutados o invalidados por la observación. Cada vez que se comprueba que un nuevo experimento está de acuerdo con las predicciones, la teoría sobrevive y nuestra confianza en ella aumenta. Pero si por el contrario se realiza alguna vez una nueva observación que contradiga la teoría, tendremos que abandonarla o modificarla. O al menos esto es lo que se supone que debe suceder, aunque uno siempre puede cuestionar la competencia de la persona que realizó la observación.

En la práctica, lo que sucede es que se construye una nueva teoría que en realidad es una extensión de la teoría original. Por ejemplo, observaciones tremendamente precisas del planeta Mercurio revelan una pequeña diferencia entre su movimiento y las predicciones de la teoría de la gravedad de Newton. La teoría de la relatividad general de Einstein predecía un movimiento de Mercurio ligeramente distinto del de la teoría de Newton. El hecho de que las predicciones de Einstein se ajustaran a las observaciones, mientras que las de Newton no lo hacían, fue una de las confirmaciones cruciales de la nueva teoría. Sin embargo, seguimos usando la teoría de Newton para todos los propósitos prácticos ya que las diferencias entre sus predicciones y las de la relatividad general son muy pequeñas en las situaciones que normalmente nos incumben. Y la teoría de Newton también posee la gran ventaja de ser mucho más simple y manejable que la de Einstein.

El objetivo final de la ciencia es el proporcionar una única teoría que describa correctamente todo el universo. Sin embargo, el método que la mayoría de los científicos siguen en realidad es el de separar el problema en dos partes. Primero, están las leyes que nos dicen cómo cambia el universo con el tiempo (si conocemos cómo es el universo en un instante dado, estas leves físicas nos dirán cómo será el universo en cualquier otro posterior). Segundo, está la cuestión del estado inicial del universo. Algunas personas creen que la ciencia se debería ocupar únicamente de la primera parte: consideran el tema de la situación inicial del universo como objeto de la metafísica o la religión. Ellos argumentarían que Dios, al ser omnipotente, podría haber iniciado el universo de la manera que más le hubiera gustado. Puede ser que sí, pero en ese caso Él también podía haberlo hecho evolucionar de un modo totalmente arbitrario. En cambio, parece ser que eligió hacerlo evolucionar de una manera muy regular siguiendo ciertas leyes. Resulta, así pues, igualmente razonable suponer que también hay leyes que gobiernan el estado inicial.

Es muy difícil construir una única teoría capaz de describir todo el universo. En vez de ello, nos vemos

forzados, de momento, a dividir el problema en varias partes, inventando un cierto número de teorías parciales. Cada una de estas teorías parciales describe y predice una cierta clase restringida de observaciones, despreciando los efectos de otras cantidades, o representando éstas por simples conjuntos de números. Puede ocurrir que esta aproximación sea completamente errónea. Si todo en el universo depende de absolutamente todo el resto de él de una manera fundamental, podría resultar imposible acercarse a una solución completa investigando partes aisladas del problema. Sin embargo, éste es ciertamente el modo en que hemos progresado en el pasado. El ejemplo clásico es de nuevo la teoría de la gravedad de Newton, la cual nos dice que la fuerza gravitacional entre dos cuerpos depende únicamente de un número asociado a cada cuerpo, su masa, siendo por lo demás independiente del tipo de sustancia que forma el cuerpo. Así, no se necesita tener una teoría de la estructura y constitución del Sol y los planetas para poder determinar sus órbitas.

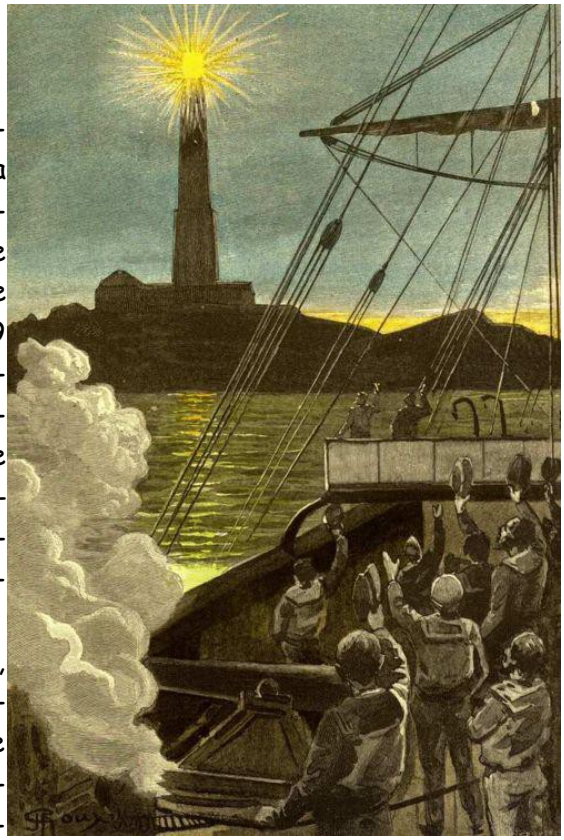
Los científicos actuales describen el universo a través de dos teorías parciales fundamentales: la teoría de la relatividad general y la mecánica cuántica. Ellas constituyen el gran logro intelectual de la primera mitad del siglo XX. La teoría de la relatividad general describe la fuerza de la gravedad y la estructura a gran escala del universo, es decir, la estructura a escalas que van desde sólo unos pocos kilómetros hasta un billón de billones (un 1 con veinticuatro ceros detrás) de kilómetros, el tamaño del universo observable. La mecánica cuántica, por el contrario, se ocupa de los fenómenos a escalas extremadamente pequeñas, tales como una billonésima de centímetro. Desafortunadamente, sin embargo, se sabe que estas dos teorías son inconsistentes entre sí: ambas no pueden ser correctas a la vez. Uno de los mayores esfuerzos de la física actual es la búsqueda de una nueva teoría que incorpore a las dos anteriores: una teoría cuántica de la gravedad. Aún no se dispone de tal teoría, y para ello todavía puede quedar un largo camino por recorrer, pero sí se conocen muchas de las propiedades que debe poseer. Ya se sabe relativamente bastante acerca de las predicciones que debe hacer una teoría cuántica de la gravedad.

Si se admite entonces que el universo no es arbitrario, sino que está gobernado por ciertas leyes bien definidas, habrá que combinar al final las teorías parciales en una teoría unificada completa que describirá todos los fenómenos del universo. Existe, no obstante, una paradoja fundamental en nuestra búsqueda de esta teoría unificada y completa. Las ideas anteriormente perfiladas sobre las teorías científicas suponen que somos seres racionales, libres para observar el universo como nos plazca y para extraer deducciones lógicas de lo que veamos. En tal esquema parece razonable suponer que podríamos continuar progresando indefinidamente, acercándonos cada vez más a las leyes que gobiernan el universo. Pero si realmente existiera una teoría unificada completa, algunos teóricos suponen que ésta también determinaría presumiblemente nuestras acciones. Así la teoría misma determinaría el resultado de nuestra búsqueda de ella. ¿Y por qué razón debería determinar que llegáramos a las verdaderas conclusiones a partir de la evidencia que nos presenta? ¿Es que no podría determinar igualmente bien que extrajéramos conclusiones erróneas? ¿O incluso que no extrajéramos ninguna conclusión en absoluto?

Dado que las teorías que ya poseemos son suficientes para realizar predicciones exactas de todos los fenómenos naturales, excepto de los más extremos, nuestra búsqueda de la teoría definitiva del universo parece difícil de justificar desde un punto de vista práctico (es interesante señalar, sin embargo, que argumentos similares podrían haberse usado en contra de la teoría de la relatividad y de la mecánica cuántica, las cuales nos han dado la energía nuclear y la revolución de la microelectrónica). Así pues, el descubrimiento de

una teoría unificada completa puede no ayudar por sí misma a la supervivencia de nuestra especie. Puede incluso no afectar a nuestro modo de vida. Pero siempre, desde el origen de la civilización, la gente no se ha contentado con ver los acontecimientos como desconectados e inexplicables. Ha buscado incesantemente un conocimiento del orden subyacente del mundo. Hoy en día, la mayoría de la humanidad sigue anhelando saber por qué estamos aquí y de dónde venimos. Desgraciadamente, el enfoque materialista y escéptico de la vida, obtenido como resultado de una cascada de infortunios de índole religioso, político, social, propagandístico, del uso desacertado del libre albedrío, etc., ha alejado al hombre de su Creador y de la guía provista por Éste y de ese modo el ser humano se encuentra huérfano en medio de la inmensidad. No obstante, el profundo deseo de conocimiento de la humanidad es un incentivo más que suficiente para continuar la búsqueda, y ésta no cesará ni siquiera cuando poseamos una descripción completa del universo en el que vivimos.

El faro del fin del mundo.



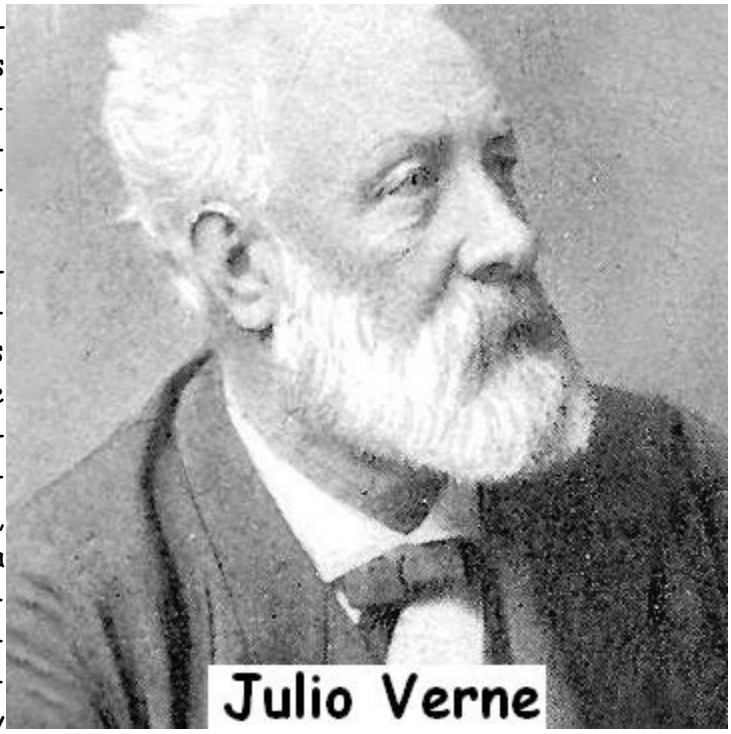
"El faro del fin del mundo" (Le phare du bout du monde) es una novela del escritor francés Julio Verne (1828-1905), corregida por su hijo Michel Verne (1861-1925) y publicada en la "Magasin d' Education et de Récréation" (Magazín de ilustración y recreo) desde el 15 de Agosto (volumen 22, número 256) hasta el 15 de Diciembre (volumen 22, número 264) de 1905, y en un volumen completo el 29 de julio de ese mismo año, el de la muerte de Verne. Fue escrita hacia 1901, puesto que el escritor llevaba varias obras de adelanto sobre el orden de entrega de sus publicaciones. Es considerada una de las mejores novelas de esa etapa literaria de Verne. Muchos años después, en 1999, la editorial Stanké (de Montreal) publicaría por primera vez la versión original de Jules Verne, sin los cambios realizados por su hijo.

El argumento de la novela transcurre en la isla de los Estados, un enclave deshabitado de la Patagonia argentina, donde se confunden los océanos Atlántico y Pacífico, y en donde opera una banda de piratas dirigidos por el terrible Kongre. Estos desaforados se dedican a atacar embarcaciones que encallan en la zona. De ahí la importancia de un faro que evite presumibles catástrofes naturales en esa zona marítima de difícil tránsito, una zona alejada de la civilización (situada en el "fin del mundo", en sentido metafórico).

El modo de vida de esos piratas se ve seriamente amenazado cuando el gobierno argentino construye y pone en funcionamiento un faro (el actualmente llamado Faro del Fin del Mundo, o Faro de San Juan de Salvamento, que se encuentra al noreste de la Isla de los Estados, Provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur, en Patagonia, al sur de Argentina) que dejan al cuidado de tres fareros. Los piratas dan muerte a dos de ellos, y dejan con vida únicamente al jefe, Vázquez, que ha logrado ocultarse. El valeroso Vázquez tratará entonces de sobrevivir en ese lejano paraje, y al mismo tiempo buscará la manera de terminar con las fechorías de los malhechores. Posteriormente, un náufrago estadounidense de origen escocés, John Davis, será el compañero de Vázquez en su lucha contra los piratas.

"El faro del fin del mundo" es considerada una de las mejores publicaciones de Verne en sus últimos años, y su personaje Kongre es para muchos el más vil de sus villanos; aunque, como de costumbre, Verne se adentra poco en la psiquis de sus personajes. Sin embargo, el argentino Vázquez es un personaje muy bien construido; su temple, su valentía y su coraje contrastan con el sombrío carácter del pirata.

La novela es de tono oscuro, en la que los pillajes y la crueldad de los malhechores reflejan el sentir, el



pesimismo y la desilusión que tenía Julio Verne en sus últimos años, siendo quizá una de las principales novelas en las que es evidente que Verne era más que un escritor sólo para niños y jóvenes. Algunos estudiosos de Verne insisten en que pocas historias de este escritor recurren a actos tan fuertes de pillaje y de violencia.

Algunos comentaristas parecen insinuar que Verne perdió gran parte de su optimismo inicial en los progresos de la ciencia y la tecnología humanas debido a las vicisitudes negativas que sufrió en la segunda parte de su vida, y es posible que dichas vivencias verdaderamente afectaran su modo de percibir el devenir de la humanidad en los últimos años de su existencia. Sin embargo, hay que tener presente que la experiencia acumulada a lo largo de toda una vida puede suponer una ventaja considerable a la hora de echar mano de un filtro perceptivo que ha sido obligado a no pasar por alto detalles y sutilezas que permiten vislumbrar problemas en ciernes, y más si se tiene en cuenta que los impactos sobre una mente sensible, producidos por dolencias y frustraciones, tienen el efecto colateral de configurar dicho filtro de tal manera que sea capaz de captar datos que de otra forma serían pasados por alto.

Por lo tanto, si durante su juventud Verne se encandiló demasiado con su preclara visión de lo que el futuro tecnológico podría aportar en beneficio de la humanidad, al grado de no ser capaz de visualizar las nefastas consecuencias del uso egoísta de dicha tecnología, en su vejez, en cambio, tras una relativamente dilatada cantidad de años comprobando que la vida (tanto individual como colectiva) está muy lejos de ser de color rosa, comenzó a vislumbrar las posibles resultantes del manejo moralmente torpe e ineficaz del adelanto científico. Y tenemos que decir, en su honor, que sus sombrías expectativas han sido superadas por la realidad histórica de nuestros días actuales.

La novela "El faro del fin del mundo" puede ser tomada, si queremos, como ilustración de un drama a nivel planetario y extraplanetario que nos envuelve a todos. El faro señala a la necesidad de guía luminosa que tenían los navegantes de la época, para evitar naufragios. Pues bien, los seres humanos y sus sociedades son como navíos que surcan las aguas peligrosas de una realidad que muchas veces golpea duramente y compromete incluso la supervivencia del grupo. La necesidad de una guía sobrehumana (o de un faro de luz) se hace evidente sobretodo en momentos de intensa amenaza o asechanza apocalíptica (tal como sucede actualmente). ¿Se pudiera hallar una tal guía que, además, fuera fiable?

"Tu palabra es una lámpara para mi pie, y una luz para mi vereda" (Salmo 119: 105). Esta frase es una declaración sagrada contenida en el libro de los Salmos. Respecto a la misma, la revista "La atalaya" del 1-5-2007, publicada en inglés, español y otros idiomas por la Sociedad Watchtower Bible And Tract, páginas 14-18, bajo el artículo "Dejemos que la Palabra de Dios guíe nuestros pasos", expone, en parte:

«¿Recuerda alguna ocasión en que tuvo que preguntar a alguien cómo llegar a un sitio? Puede que se encontrara cerca, pero no estuviera seguro del lugar exacto. O quizá se hallara totalmente perdido y necesitara cambiar por completo de dirección. ¿Verdad que lo más prudente fue seguir las indicaciones de esa persona? Claro que sí, pues conocía la zona y podía ayudarle a llegar a su destino.

El hombre lleva miles de años trazando su propio rumbo en la vida sin la ayuda divina. Pero sin ella, los seres humanos imperfectos están totalmente perdidos: son incapaces de encontrar el camino de la paz y la felicidad verdaderas. ¿Por qué? Hace más de dos mil quinientos años, el profeta Jeremías declaró: "No per-

tenece al hombre que está andando siquiera dirigir su paso" (Jeremías 10: 23). Todo el que trata de dirigir sus propios pasos sin aceptar la ayuda de alguien cualificado se ve condenado al fracaso. Está claro, pues, que la humanidad necesita guía.

Jehová Dios es la persona más cualificada del universo para darnos la guía que necesitamos. ¿Por qué razón? Porque él nos conoce mejor que nadie. No sólo sabe muy bien cómo se extraviaron los seres humanos, sino también lo que necesitan para volver al buen camino. Además, Jehová es nuestro Creador, así que siempre sabe qué es lo que más nos beneficia. Por lo tanto, podemos tener plena confianza en la promesa divina que leemos en Salmo 32: 8: "Te haré tener perspicacia, y te instruiré en el camino en que debes ir. Ciertamente daré consejo con mi ojo sobre ti". No cabe ninguna duda: la guía de Jehová es la mejor. Ahora bien, ¿cómo nos guía él?

Un salmista expresó lo siguiente en una oración a Jehová: "Tu palabra es una lámpara para mi pie, y una luz para mi vereda" (Salmo 119: 105). Las declaraciones y recordatorios de Dios se encuentran en la Biblia y nos ayudan a superar los obstáculos que puedan alzarse en nuestro camino. Cuando leemos la Biblia y nos dejamos guiar por ella, se cumplen en nosotros las palabras de Isaías 30: 21: "Tus propios oídos oirán una palabra detrás de ti que diga: 'Éste es el camino. Andad en él'".

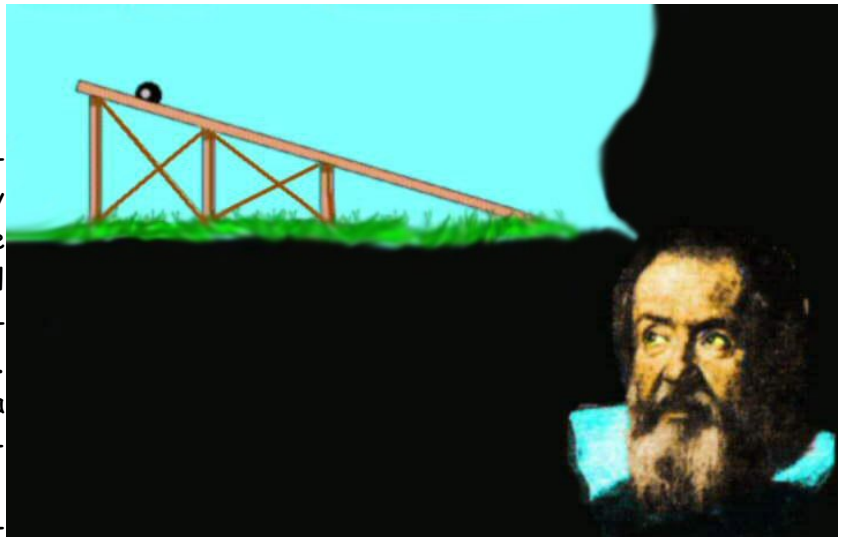
Pero observemos que Salmo 119: 105 señala que la Palabra de Dios cumple dos funciones relacionadas. En primer lugar, es una lámpara para nuestro pie. Si al enfrentarnos a los problemas del día a día dejamos que los principios bíblicos guíen nuestros pasos, tomaremos decisiones prudentes y evitaremos las trampas y los peligros de este mundo. En segundo lugar, los recordatorios de Dios alumbran nuestra vereda; nos ayudan a elegir opciones que estén en armonía con nuestra esperanza de vivir para siempre en el Paraíso que Dios ha prometido. Estando bien iluminada la vereda que se extiende ante nosotros, podemos discernir si las consecuencias de cierto proceder serán buenas o malas.

Todos los días tomamos decisiones. Algunas son de poca importancia, al menos a simple vista, pero a veces nos enfrentamos a situaciones que ponen a prueba nuestra pureza moral, honradez y neutralidad. A fin de superarlas con éxito, debemos tener las "facultades perceptivas entrenadas para distinguir tanto lo correcto como lo incorrecto" (Hebreos 5: 14). Al adquirir conocimiento exacto de la Palabra de Dios y aumentar nuestro entendimiento de sus principios, educamos nuestra conciencia para tomar decisiones [sabias].

Los dichos de Jehová nos guían de dos maneras relacionadas entre sí. Primero, son una lámpara para nuestro pie, pues nos ayudan a avanzar en la dirección correcta y nos dirigen a la hora de tomar decisiones. Segundo, alumbran la senda que se extiende ante nosotros, de modo que podamos verla con claridad. La pregunta es: ¿nos dejaremos guiar por [ellos]? A fin de comprender sus instrucciones, resuélvase a leer la Biblia todos los días. Medite en lo que lea, procure percibir cuál es la [guía] de Jehová en cada asunto y piense en distintos modos en que pudiera aplicar los principios bíblicos. Luego, use su "facultad de raciocinio" al tomar decisiones. Si permitimos que los principios de la Palabra de Dios nos iluminen y nos guíen, tomaremos decisiones acertadas. Podemos estar seguros de que la Palabra escrita de Jehová "hace sabio al inexperto"».

Desde el punto de vista de la ciencia materialista actual, no parece que la "palabra de Dios" tenga utilidad alguna en su avance. Sin embargo, existen evidencias que desmienten ese punto de vista. Por ejemplo, muchos científicos se imaginan que cuando investigan el universo que nos alberga están adquiriendo una visión de la realidad total; sin embargo, la Biblia nos muestra que nuestro universo material no es más que un subconjunto de un cosmos mucho más global y extenso de lo que pudiéramos sospechar; y eso mismo ocurre con el

concepto de tiempo. Según la sagrada escritura, el tiempo no ha tenido comienzo, tal como el Todopoderoso (el Rey de la eternidad) no ha tenido principio.



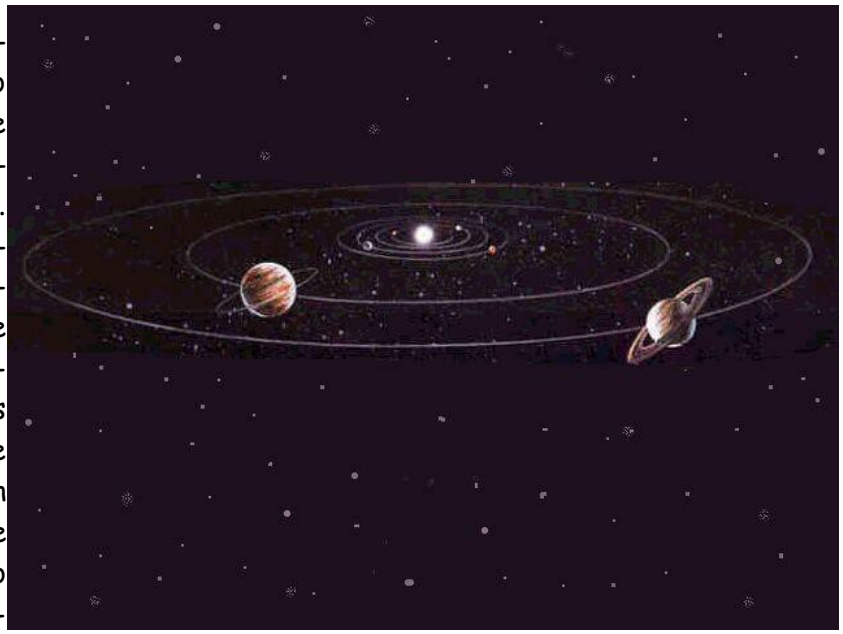
El dogma del "absoluto".

Nuestras nociones actuales acerca del movimiento de los cuerpos se remontan a Galileo y Newton. Antes de ellos, se creía en las ideas de Aristóteles, quien decía que el estado natural de un cuerpo era el reposo y que éste sólo se movía si era empujado por una fuerza o un impulso. De ello se deducía que un cuerpo pesado debía caer más rápido que uno ligero, porque sufría una atracción mayor hacia la tierra.

La tradición aristotélica también mantenía que se podrían deducir todas las leyes que gobiernan el universo por medio del pensamiento puro: no era necesario comprobarlas por medio de la observación. Así, nadie antes de Galileo se preocupó de ver si los cuerpos con pesos diferentes caían con velocidades diferentes. Se dice que Galileo demostró que las anteriores ideas de Aristóteles eran falsas dejando caer diferentes pesos desde la torre inclinada de Pisa. Es casi seguro que esta historia no es cierta, aunque lo que sí hizo Galileo fue algo equivalente: dejó caer bolas de distintos pesos a lo largo de un plano inclinado. La situación es muy similar a la de los cuerpos pesados que caen verticalmente, pero es más fácil de observar porque las velocidades son menores. Las mediciones de Galileo indicaron que cada cuerpo aumentaba su velocidad al mismo ritmo, independientemente de su peso. Por ejemplo, si se suelta una bola en una pendiente que desciende un metro por cada diez metros de recorrido, la bola caerá por la pendiente con una velocidad de un metro por segundo después de un segundo, de dos metros por segundo después de dos segundos, y así sucesivamente, sin importar lo pesada que sea la bola. Por supuesto que una bola de plomo caerá más rápida que una pluma, pero ello se debe únicamente a que la pluma es frenada por la resistencia del aire. Si uno soltara dos cuerpos que no presentasen demasiada resistencia al aire, tales como dos pesos diferentes de plomo, caerían con la misma rapidez.

Las mediciones de Galileo sirvieron de base a Newton para la obtención de sus leyes del movimiento. En los experimentos de Galileo, cuando un cuerpo caía rodando, siempre actuaba sobre él la misma fuerza (su peso) y el efecto que se producía consistía en acelerarlo de forma constante. Esto demostraba que el efecto real de una fuerza era el de cambiar la velocidad del cuerpo, en vez de simplemente ponerlo en movimiento, como se pensaba anteriormente. Ello también significaba que siempre que sobre un cuerpo no actuara ninguna fuerza, éste se mantendría moviéndose en una línea recta con la misma velocidad. Esta idea fue formulada explícitamente por primera vez en los "Principia Mathematica" de Newton, publicados en 1687, y se conoce como "primera ley de Newton". Lo que le sucede a un cuerpo cuando sobre él actúa una fuerza está recogido en la "segunda ley de Newton". Ésta afirma que el cuerpo se acelerará, o cambiará su velocidad, a un ritmo proporcional a la fuerza. Por ejemplo, la aceleración se duplicará cuando la fuerza aplicada sea doble. Al mismo tiempo, la aceleración disminuirá cuando aumente la masa (o la cantidad de materia) del cuerpo. La misma fuerza actuando sobre un cuerpo de doble masa que otro, producirá la mitad de aceleración en el primero que en el segundo. Un ejemplo familiar lo tenemos en un coche: cuanto más potente sea su motor mayor aceleración poseerá, pero cuanto más pesado sea el coche menor aceleración tendrá con el mismo motor.

Además de las leyes del movimiento, Newton descubrió una ley que describía la fuerza de la gravedad, una ley que nos dice que todo cuerpo atrae a todos los demás cuerpos con una fuerza proporcional a la masa de cada uno de ellos. Así, la fuerza entre dos cuerpos se duplicará si uno de ellos (digamos, el cuerpo A) dobla

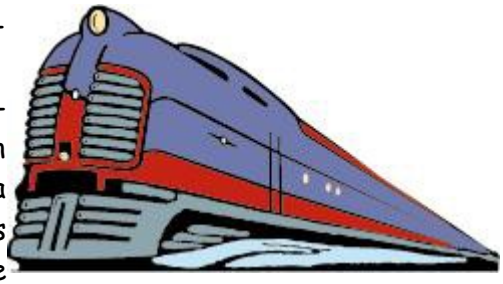


su masa. Esto es lo que razonablemente se podría esperar, ya que uno puede suponer al nuevo cuerpo A formado por dos cuerpos, cada uno de ellos con la masa original. Cada uno de estos cuerpos atraerá al cuerpo B con la fuerza original. Por lo tanto, la fuerza total entre A y B será justo el doble que la fuerza original. Y si, por ejemplo, uno de los cuerpos tuviera una masa doble de la original y el otro cuerpo una masa tres veces mayor que al principio, la fuerza entre ellos sería seis veces más intensa que la original. Se puede ver ahora por qué todos los cuerpos caen con la misma rapidez: un cuerpo que tenga doble peso sufrirá una fuerza gravitatoria doble, pero al mismo tiempo tendrá una masa doble. De acuerdo con la segunda ley de Newton, estos dos efectos se cancelarán exactamente y la aceleración será la misma en ambos casos.

La ley de la gravedad de Newton nos dice también que cuanto más separados estén los cuerpos menor será la fuerza gravitatoria entre ellos. La ley de la gravedad de Newton establece que la atracción gravitatoria producida por una estrella a una cierta distancia es exactamente la cuarta parte de la que produciría una estrella similar a la mitad de distancia. Esta ley predice con gran precisión las órbitas de la Tierra, la Luna y los planetas. Si la ley fuera que la atracción gravitatoria de una estrella decayera más rápidamente con la distancia, las órbitas de los planetas no serían elípticas, sino que éstos irían cayendo en espiral hacia el Sol. Si, por el contrario, la atracción gravitatoria decayera más lentamente, las fuerzas gravitatorias debidas a las estrellas lejanas dominarían frente a la atracción de la Tierra.

La diferencia fundamental entre las ideas de Aristóteles y las de Galileo y Newton estriba en que Aristóteles creía en un estado preferente de reposo, en el que todas las cosas subyacerían, a menos que fueran empujadas por una fuerza o impulso. En particular, él creyó que la Tierra estaba en reposo. Por el contrario, de las leyes de Newton se desprende que no existe un único estándar de reposo. Se puede suponer igualmente o que el cuerpo A está en reposo y el cuerpo B se mueve a velocidad constante con respecto de A, o que el B está en reposo y es el cuerpo A el que se mueve. Por ejemplo, si uno se olvida de momento de la rotación de la Tierra y de su órbita alrededor del Sol, se puede decir que la Tierra está en reposo y que un tren sobre ella está viajando hacia el norte a ciento cuarenta kilómetros por hora, o se puede decir igualmente que el tren está en reposo y que la Tierra se mueve hacia el sur a ciento cuarenta kilómetros por hora. Si se realizaran experimentos en el tren con objetos que se movieran, comprobaríamos que todas las leyes de Newton seguirían siendo válidas. Por ejemplo, al jugar al ping-pong en el tren, uno encontraría que la pelota obedece las leyes de Newton exactamente igual a como lo haría en una mesa situada junto a la vía. Por lo tanto, no hay forma de distinguir si es el tren o es la Tierra lo que se mueve.

La falta de un estándar absoluto de reposo significaba que no se podía determinar si dos acontecimientos que ocurrieran en tiempos diferentes habían tenido lugar en la misma posición espacial. Por ejemplo, supongamos que en el tren nuestra bola de ping-pong está botando, moviéndose verticalmente hacia arriba y hacia abajo y golpeando la mesa dos veces en el mismo lugar con un intervalo de un segundo. Para un observador situado junto a la vía, los dos botes parecerán tener lugar con una separación de unos cuarenta metros, ya que el tren habrá recorrido esa distancia entre los dos botes. Así pues la no existencia de un reposo absoluto significa que no se puede asociar una posición absoluta en el espacio con un suceso, como Aristóteles había creído. Las posiciones de los sucesos y la distancia entre ellos serán diferentes para una persona en el



tren y para otra que esté al lado de la vía, y no existe razón para preferir el punto de vista de una de las personas frente al de la otra.

Newton estuvo muy preocupado por esta falta de una posición absoluta, o espacio absoluto, como se le llamaba, porque no concordaba con su idea de un Dios absoluto. De hecho, rehusó aceptar la no existencia de un espacio absoluto, a pesar incluso de que estaba implicada por sus propias leyes. Fue duramente criticado por mucha gente debido a este pensamiento irracional, destacando sobre todo la crítica del obispo Berkeley, un filósofo que creía que todos los objetos materiales, junto con el espacio y el tiempo, eran una ilusión. Cuando el famoso Dr. Johnson se enteró de la opinión de Berkeley gritó: "¡Lo rebato así!", y golpeó con la punta del pie una gran piedra.

Tanto Aristóteles como Newton creían en el tiempo absoluto. Es decir, ambos pensaban que se podía afirmar inequívocamente la posibilidad de medir el intervalo de tiempo entre dos sucesos sin ambigüedad, y que dicho intervalo sería el mismo para todos los que lo midieran, con tal que usaran un buen reloj. El tiempo estaba totalmente separado y era independiente del espacio. Esto es, de hecho, lo que la mayoría de la gente consideraría como de sentido común. Sin embargo, hemos tenido que cambiar nuestras ideas acerca del espacio y del tiempo. Aunque nuestras nociones de lo que parece ser el sentido común funcionan bien cuando se usan en el estudio del movimiento de las cosas, tales como manzanas o planetas, que viajan relativamente lentas, no funcionan, en absoluto, cuando se aplican a cosas que se mueven con o cerca de la velocidad de la luz.

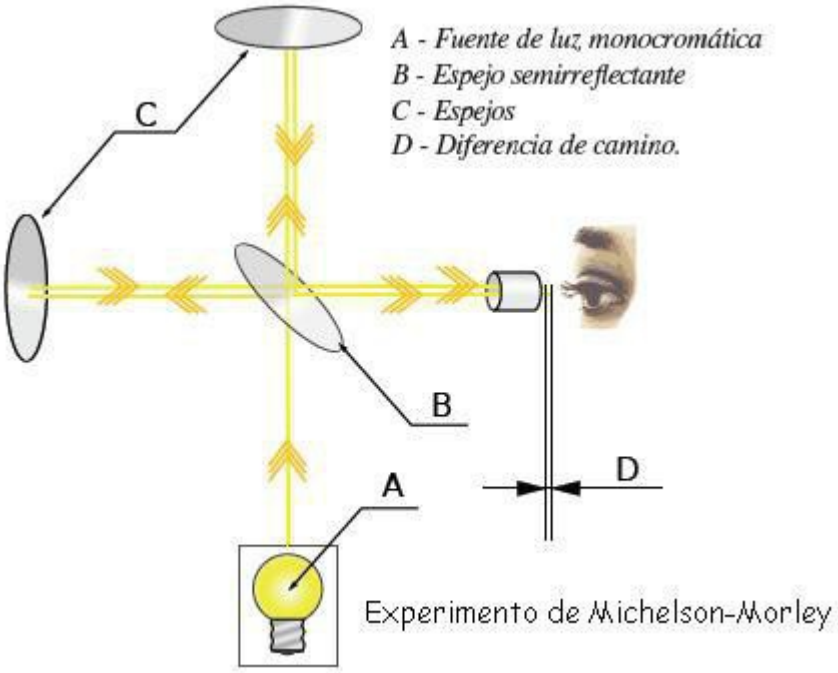
La velocidad de la luz.

El hecho de que la luz viaja a una velocidad finita, aunque muy elevada, fue descubierto en 1676 por el astrónomo danés Ole Christensen Roemer. Él observó que los tiempos en los que las lunas de Júpiter parecían pasar por detrás de éste no estaban regularmente espaciados, como sería de esperar si las lunas giraran alrededor de Júpiter con un ritmo constante. Dado que la Tierra y Júpiter giran alrededor del Sol, la distancia entre ambos varía. Roemer notó que los eclipses de las lunas de Júpiter parecen ocurrir tanto más tarde cuanto más distantes de Júpiter estamos. Argumentó que se debía a que la luz proveniente de las lunas tardaba más en llegar a nosotros cuanto más lejos estábamos de ellas. Sus medidas sobre las variaciones de las distancias de la Tierra a Júpiter no eran, sin embargo, demasiado buenas, y así estimó un valor para la velocidad de la luz de 225.000 kilómetros por segundo, comparado con el valor moderno de 300.000 kilómetros por segundo. No obstante, no sólo el logro de Roemer de probar que la luz viaja a una velocidad finita, sino también de medir esa velocidad, fue notable, sobre todo teniendo en cuenta que esto ocurría once años antes de que Newton publicara los "Principia Mathematica".

Una verdadera teoría de la propagación de la luz no surgió hasta 1865, en que el físico británico James Clerk Maxwell consiguió unificar con éxito las teorías parciales que hasta entonces se habían usado para definir las fuerzas de la electricidad y el magnetismo. Las ecuaciones de Maxwell predecían que podían existir perturbaciones de carácter ondulatorio del campo electromagnético combinado, y que éstas viajarían a velocidad constante, como las olas de una balsa. Si tales ondas poseen una longitud de onda (la distancia entre una cresta de onda y la siguiente) de un metro o más, constituyen lo que hoy en día llamamos ondas de radio. Aquéllas con longitudes de onda menores se llaman microondas (unos pocos centímetros) o infrarrojas (más de una diezmilésima de centímetro). La luz visible tiene sólo una longitud de onda de entre cuarenta y ochenta millonésimas de centímetro. Las ondas con todavía menores longitudes se conocen como radiación ultravioleta, rayos X y rayos gamma.

La teoría de Maxwell predecía que tanto las ondas de radio como las luminosas deberían viajar a una velocidad fija determinada. La teoría de Newton se había desprendido, sin embargo, de un sistema de referencia absoluto, de tal forma que si se suponía que la luz viajaba a una cierta velocidad fija, había que especi-

ficar con respecto a qué sistema de referencia se medía dicha velocidad. Para que esto tuviera sentido, se sugirió la existencia de una sustancia llamada "éter" que estaba presente en todas partes, incluso en el espacio "vacío". Las ondas de luz debían viajar a través del éter al igual que las ondas de sonido lo hacen a través del aire, y sus velocidades deberían ser, por lo tanto, relativas al éter. Diferentes observadores, que se movieran con relación al éter, verían acercarse la luz con velocidades distintas, pero la velocidad de la luz con respecto al éter permanecería fija. En particular, dado que la Tierra se movía a través del éter en su órbita alrededor del Sol, la velocidad de la luz medida en la dirección del movimiento de la Tierra a través del éter (cuando nos estuviéramos moviendo hacia la fuente luminosa) debería ser mayor que la velocidad de la luz en la dirección perpendicular a ese movimiento (cuando no nos estuviéramos moviendo hacia la fuente). En 1887, Albert Michelson (quien más tarde fue el primer norteamericano que recibió el premio Nobel de física) y Edward Morley llevaron a cabo un muy esmerado experimento en la Case School of Applied Science, de Cleveland. Ellos compararon la velocidad de la luz en la dirección del movimiento de la Tierra, con la velocidad de la luz en la dirección perpendicular a dicho movimiento. Para su sorpresa encontraron que ambas velocidades eran exactamente iguales.



Entre 1887 y 1905, hubo diversos intentos, los más importantes debidos al físico holandés Hendrik Lorentz, de explicar el resultado del experimento de Michelson y Morley en términos de contracción de los objetos o de retardo de los relojes cuando éstos se mueven a través del éter. Sin embargo, en 1905, en un famoso artículo Albert Einstein, hasta entonces un desconocido empleado de la oficina de patentes de Suiza, señaló que la idea del éter era totalmente innecesaria, con tal que se estuviera dispuesto a abandonar la idea de un tiempo absoluto. Una proposición similar fue realizada unas semanas después por un destacado matemático francés, Henri Poincaré. Los argumentos de Einstein tenían un carácter más físico que los de Poincaré, que había estudiado el problema desde un punto de vista puramente matemático. A Einstein se le reconoce como el creador de la nueva teoría, mientras que a Poincaré se le recuerda por haber dado su nombre a una parte importante de la teoría.

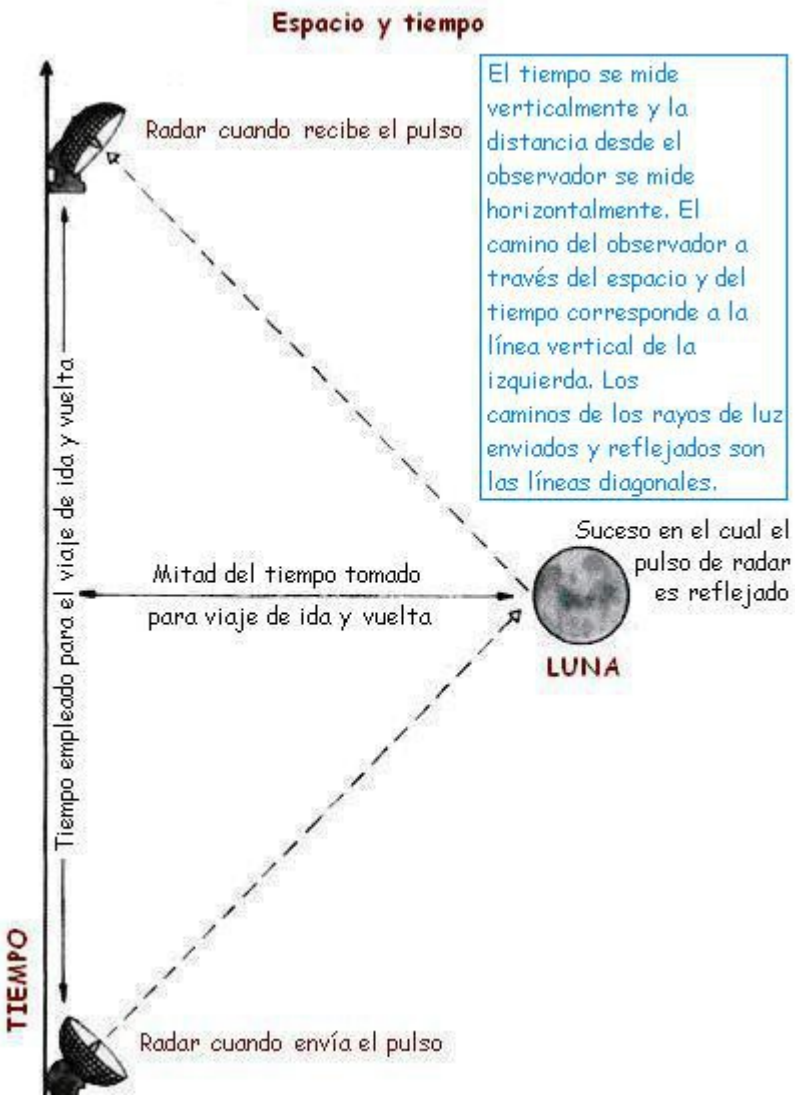
El postulado fundamental de la teoría de la relatividad, nombre de esta nueva teoría, era que las leyes de la ciencia deberían ser las mismas para todos los observadores en movimiento libre, independientemente de cuál fuera su velocidad. Esto ya era cierto para las leyes de Newton, pero ahora se extendía la idea para incluir también la teoría de Maxwell y la velocidad de la luz: todos los observadores deberían medir la misma velocidad de la luz sin importar la rapidez con la que se estuvieran moviendo. Esta idea tan simple tiene algunas consecuencias extraordinarias. Quizás las más conocidas sean la equivalencia entre masa y energía, resumida en la famosa ecuación de Einstein $E=mc^2$ (en donde E es la energía, m la masa y c la velocidad de la luz), y la ley de que ningún objeto puede viajar a una velocidad mayor que la de la luz. Debido a la equivalencia entre energía y masa, la energía que un objeto adquiere debido a su movimiento se añadirá a su masa, incrementándola. En otras palabras, cuanto mayor sea la velocidad de un objeto más difícil será aumentar su velocidad. Este efecto sólo es realmente significativo para objetos que se muevan a velocidades cercanas a la de la luz. Por ejemplo, a una velocidad de un 10% de la de la luz la masa de un objeto es sólo un 0,5% mayor de la normal, mientras que a un 90% de la velocidad de la luz la masa sería de más del doble de la normal. Cuando la ve-

locidad de un objeto se aproxima a la velocidad de la luz, su masa aumenta cada vez más rápidamente, de forma que cuesta cada vez más y más energía acelerar el objeto un poco más. De hecho no puede alcanzar nunca la velocidad de la luz, porque entonces su masa habría llegado a ser infinita, y por la equivalencia entre masa y energía, habría costado una cantidad infinita de energía el poner al objeto en ese estado. Por esta razón, cualquier objeto normal está confinado por la relatividad a moverse siempre a velocidades menores que la de la luz. Sólo la luz, u otras ondas que no posean masa intrínseca, puede moverse a la velocidad de la luz.

Relatividad.

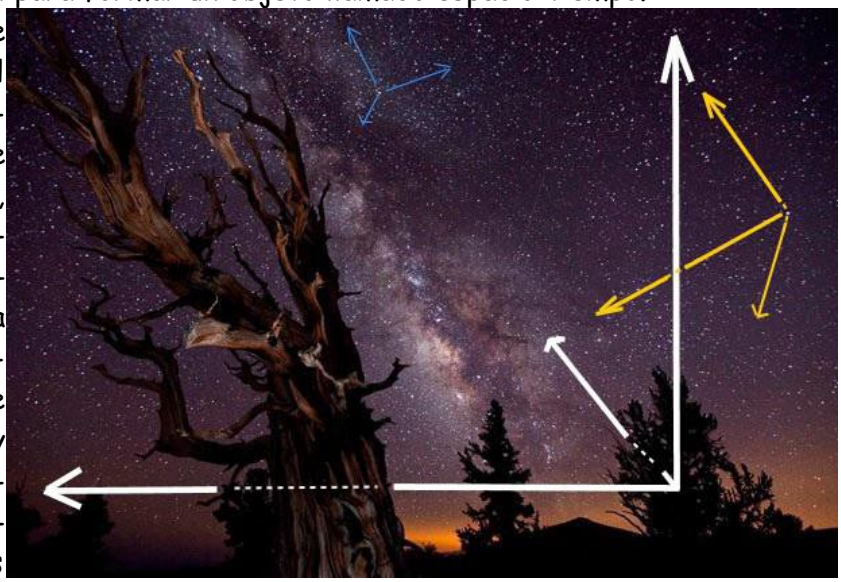
La teoría de la relatividad ha revolucionado nuestras ideas acerca del espacio y del tiempo. En la teoría de Newton, si un pulso de luz es enviado de un lugar a otro, observadores diferentes estarían de acuerdo en el tiempo que duró el viaje (ya que el tiempo es un concepto absoluto), pero no siempre estarían de acuerdo en la distancia recorrida por la luz (ya que el espacio no es un concepto absoluto). Dado que la velocidad de la luz es simplemente la distancia recorrida dividida por el tiempo empleado, observadores diferentes medirán velocidades de la luz diferentes (ver Nota-1, página 35). En relatividad, por el contrario, todos los observadores deben estar de acuerdo en lo rápido que viaja la luz. Ellos continuarán, no obstante, sin estar de acuerdo en la distancia recorrida por la luz, por lo que también deberán discrepar en el tiempo empleado. El tiempo empleado es, pues, igual al espacio recorrido, sobre el que los observadores no están de acuerdo, dividido por la velocidad de la luz, sobre la que los observadores sí están de acuerdo. En otras palabras, la teoría de la relatividad acabó con la idea de tiempo absoluto (ver Nota-2, página 36). Cada observador debe tener su propia medida del tiempo, que es la que registraría un reloj que se mueve junto a él, y relojes idénticos moviéndose con observadores diferentes no tendrían por qué coincidir.

Cada observador podría usar un radar para así saber dónde y cuándo ocurrió cualquier suceso, mediante el envío de un pulso de luz o de ondas de radio. Parte del pulso se reflejará de vuelta en el suceso y el observador medirá el tiempo que transcurre hasta recibir el eco. Se dice que el tiempo del suceso es el tiempo medio entre el instante de emisión del pulso y el de recibimiento del eco. La distancia del suceso es igual a la mitad del tiempo transcurrido en el viaje completo de ida y vuelta, multiplicado por la velocidad de la luz. Un "suceso", en este sentido, es algo que tiene lugar en un punto específico del espacio y en un determinado instante de tiempo. Esta idea se muestra en la figura de esta página, que representa un ejemplo de un diagrama espacio-tiempo. Usando el procedimiento anterior, observadores en movimiento relativo entre sí asignarán tiempos y posiciones diferentes a un mismo suceso. Ninguna medida de cualquier observador particular es más correcta que la de cualquier otro observador, sino que to-



das son equivalentes y además están relacionadas entre sí. Cualquier observador puede calcular de forma precisa la posición y el tiempo que cualquier otro observador asignará a un determinado proceso, con tal de que sepa la velocidad relativa del otro observador (ver Nota-3, página 37).

Hoy en día, se usa este método para medir distancias con precisión, debido a que podemos medir con más exactitud tiempos que distancias. De hecho, el metro se define como la distancia recorrida por la luz en 0,000000003335640952 segundos, medidos por un reloj de cesio. La razón por la que se elige este número en particular es porque corresponde a la definición histórica del metro, en términos de dos marcas existentes en una barra de platino concreta que se guarda en París. Igualmente, podemos usar una nueva y más conveniente unidad de longitud llamada "segundo-luz". Ésta se define simplemente como la distancia que recorre la luz en un segundo. En la teoría de la relatividad, se definen hoy en día las distancias en función de tiempos y de la velocidad de la luz, de manera que se desprende que cualquier observador medirá la misma velocidad de la luz (por definición, 1 metro por 0,000000003335640952 segundos). No hay necesidad de introducir la idea de un "éter", cuya presencia de cualquier manera no puede ser detectada, como mostró el experimento de Michelson-Morley. La teoría de la relatividad nos fuerza, por el contrario, a cambiar nuestros conceptos de espacio y tiempo. Debemos aceptar que el tiempo no está completamente separado e independiente del espacio, sino que por el contrario se combina con él para formar un objeto llamado espacio-tiempo.

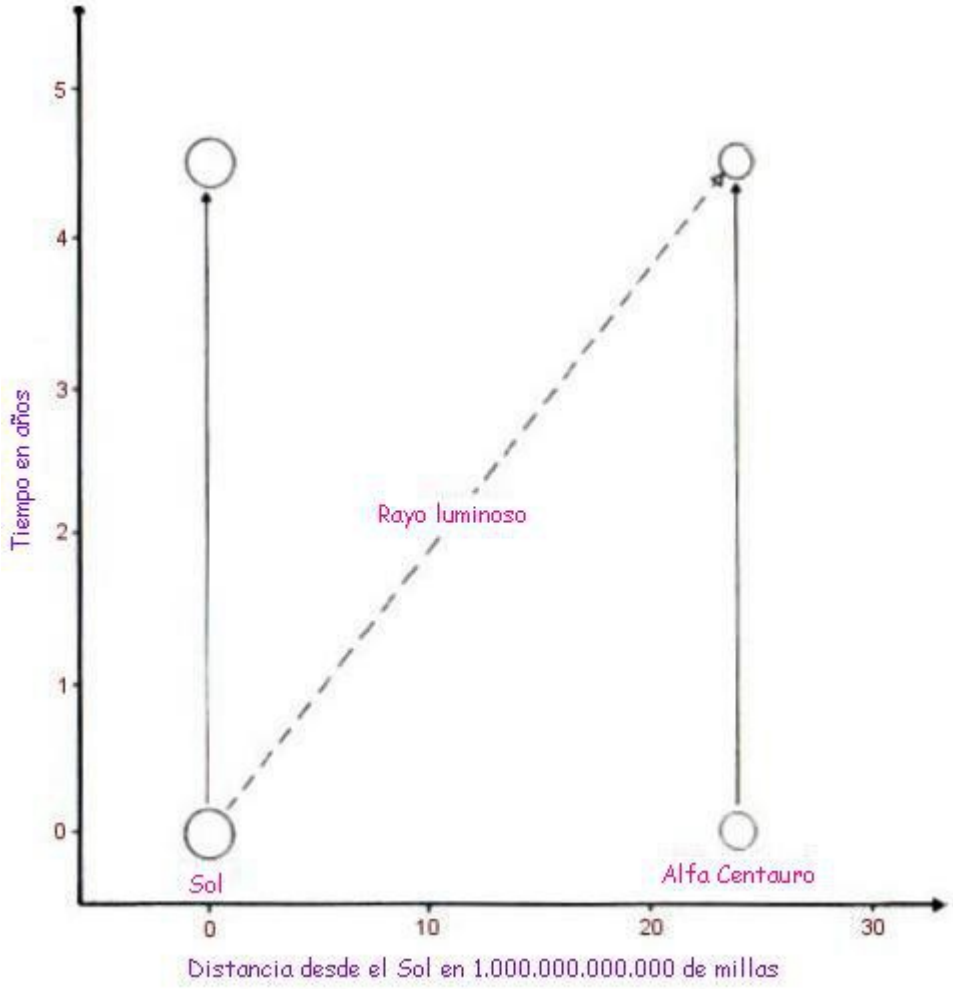


Por la experiencia ordinaria sabemos que se puede describir la posición de un punto en el espacio por tres números o coordenadas. Por ejemplo, uno puede decir que un punto dentro de una habitación está a tres metros de una pared, a un metro de la otra y a un metro y medio sobre el suelo. O uno podría especificar que un punto está a una cierta latitud y longitud y a una cierta altura sobre el nivel del mar. Uno tiene libertad para usar cualquier conjunto válido de coordenadas, aunque su utilidad pueda ser muy limitada. Nadie especificaría la posición de la Luna en función de los kilómetros que diste al norte y al oeste de Londres y del número de metros que esté sobre el nivel del mar. En vez de eso, uno podría describir la posición de la Luna en función de su distancia respecto al Sol, respecto al plano que contiene a las órbitas de los planetas y al ángulo formado entre la línea que une a la Luna y al Sol, y la línea que une al Sol y a alguna estrella cercana, tal como Alfa Centauro. Ni siquiera estas coordenadas serían de gran utilidad para describir la posición del Sol en nuestra galaxia, o la de nuestra galaxia en el grupo local de galaxias. De hecho, se puede describir el universo entero en términos de una colección de pedazos solapados. En cada pedazo, se puede usar un conjunto diferente de tres coordenadas para especificar la posición de cualquier punto.

Un "suceso" es algo que ocurre en un punto particular del espacio y en un instante específico de tiempo. Por ello, se puede describir por medio de cuatro números o coordenadas. La elección del sistema de coordenadas es de nuevo arbitraria; uno puede usar tres coordenadas espaciales cualesquiera bien definidas y una medida del tiempo. En relatividad, no existe una distinción real entre las coordenadas espaciales y la temporal, exactamente igual a como no hay ninguna diferencia real entre dos coordenadas espaciales cualesquiera. Se podría elegir un nuevo conjunto de coordenadas en el que, digamos, la primera coordenada espacial sea una combinación de la primera y la segunda coordenadas antiguas. Por ejemplo, en vez de medir la posición de un punto sobre la Tierra en kilómetros al norte de Londres, y kilómetros al oeste de Londres, se podría usar kilómetros al noreste de Londres y kilómetros al noroeste de Londres. Similarmente, en relatividad, podría em-

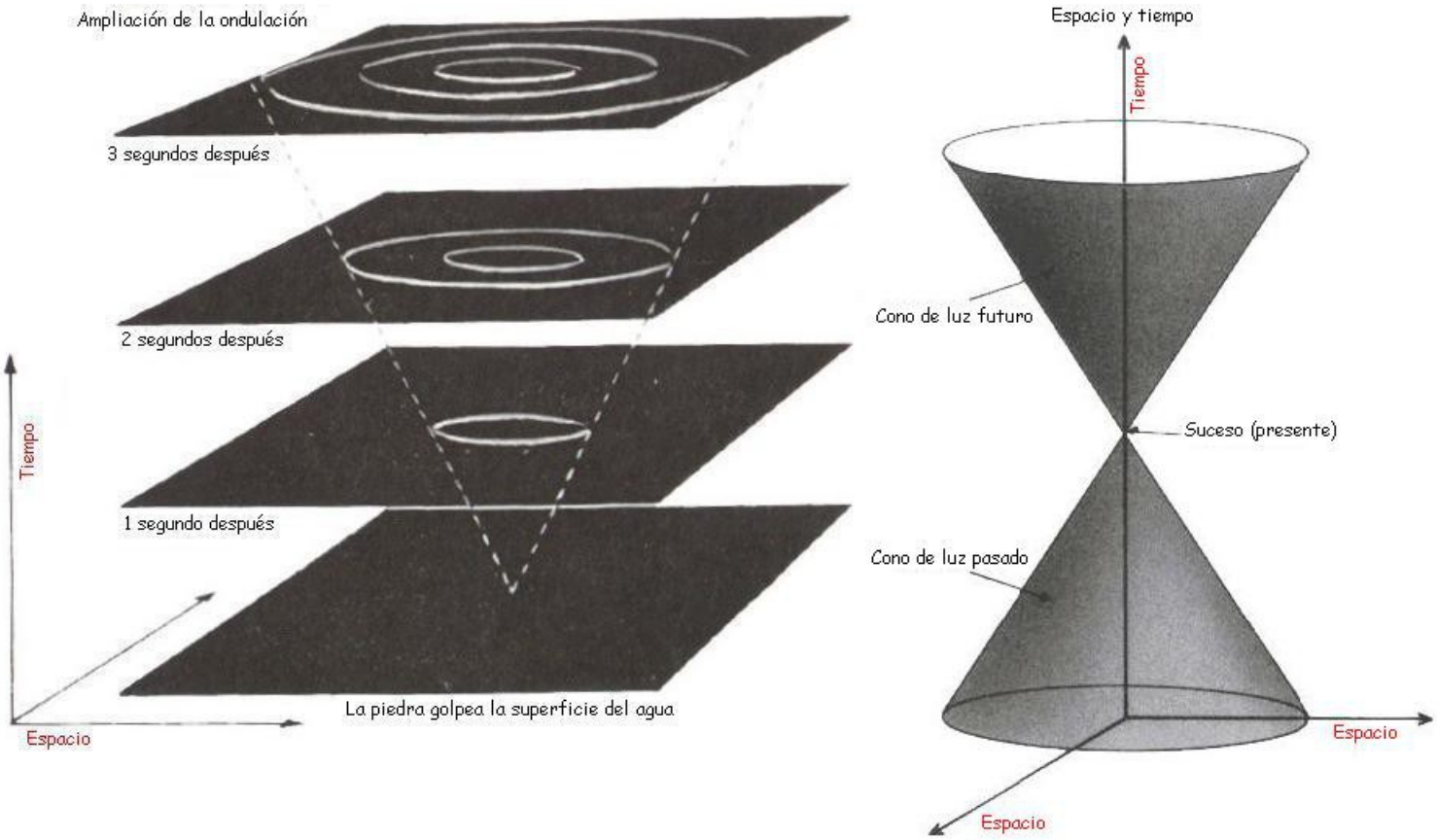
plearse una nueva coordenada temporal que fuera igual a la coordenada temporal antigua (en segundos) más la distancia (en segundos luz) al norte de Londres.

A menudo resulta útil pensar que las cuatro coordenadas de un suceso especifican su posición en un espacio cuatridimensional llamado "espacio-tiempo". Es imposible imaginar un espacio cuatridimensional. De hecho, ya es suficientemente difícil visualizar el espacio tridimensional. Sin embargo, resulta fácil dibujar diagramas de espacios bidimensionales, tales como la superficie de la Tierra. La superficie terrestre es bidimensional porque la posición de un punto en ella puede ser especificada por medio de dos coordenadas, latitud y longitud. Generalmente se usan diagramas en los que el tiempo aumenta hacia arriba y una de las dimensiones espaciales se muestra horizontalmente. Las otras dos dimensiones espaciales son ignoradas o, algunas veces, una de ellas se indica en perspectiva. Estos diagramas se llaman de "espaciotiempo". Por ejemplo, en la figura siguiente el tiempo se mide hacia arriba en años y la distancia (proyectada), a lo largo de la línea que va del Sol a Alfa Centauro, se mide horizontalmente en kilómetros. Los caminos del Sol y de Alfa Centauro, a través del espacio-tiempo, se representan por las líneas verticales a la izquierda y a la derecha del diagrama. Un rayo de luz del Sol sigue la línea diagonal y tarda $4\frac{1}{2}$ años en ir del Sol a Alfa Centauro.



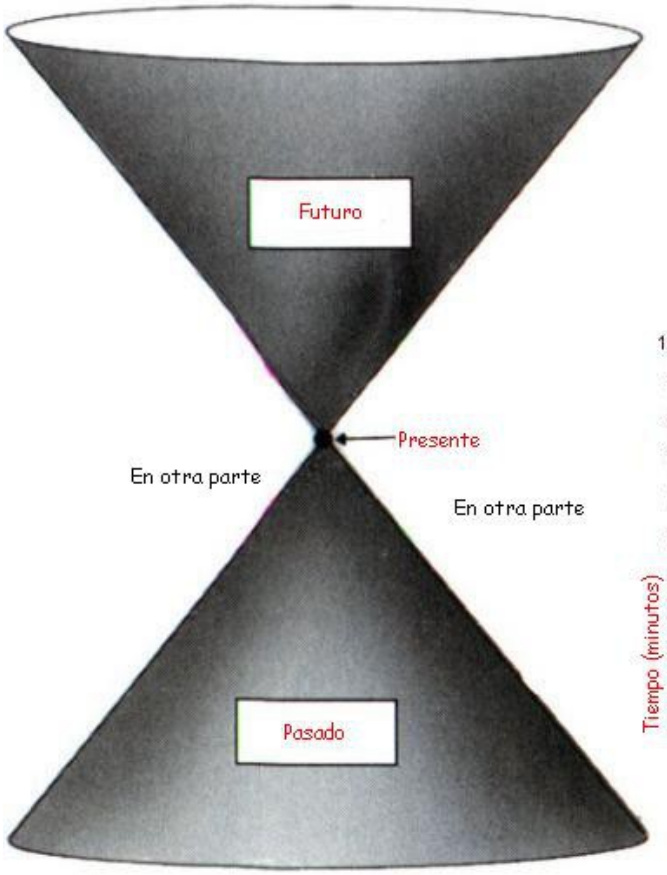
Como hemos visto, las ecuaciones de Maxwell predecían que la velocidad de la luz debería de ser la misma cualquiera que fuera la velocidad de la fuente, lo que ha sido confirmado por medidas muy precisas. De ello se desprende que si un pulso de luz es emitido en un instante concreto, en un punto particular del espacio, entonces, conforme va transcurriendo el tiempo, se irá extendiendo como una esfera de luz cuyo tamaño y posición son independientes de la velocidad de la fuente. Después de una millonésima de segundo la luz se habrá esparcido formando una esfera con un radio de 300 metros; después de dos millonésimas de segundo el radio será de 600 metros, y así sucesivamente. Será como las olas que se extienden sobre la superficie de un

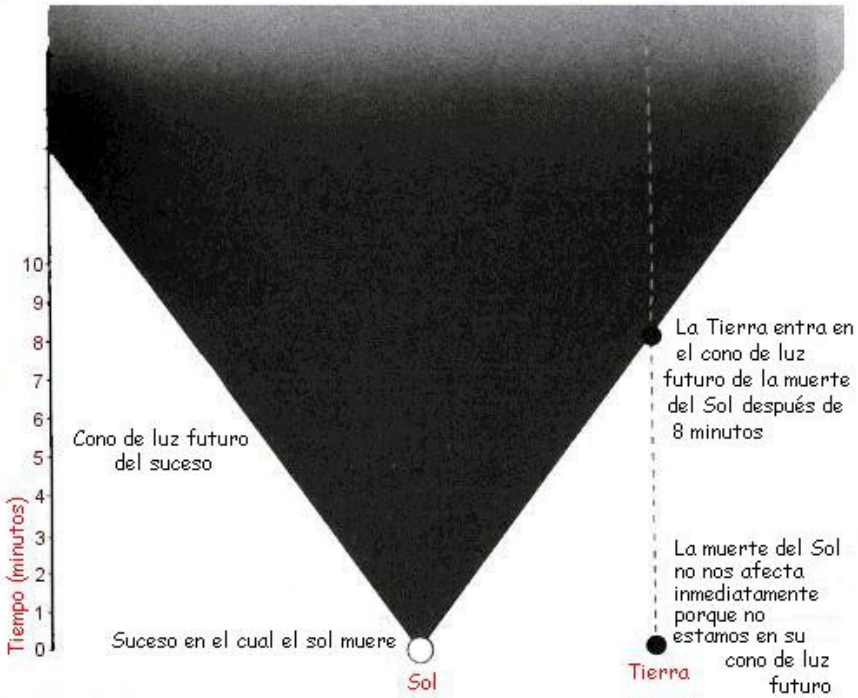
estanque cuando se lanza una piedra. Las olas se extienden como círculos que van aumentando de tamaño conforme pasa el tiempo. Si uno imagina un modelo tridimensional consistente en la superficie bidimensional del estanque y la dimensión temporal, las olas circulares que se expanden marcarán un cono cuyo vértice estará en el lugar y tiempo en que la piedra golpeó el agua (figura siguiente). De manera similar, la luz, al expandirse desde un suceso dado, forma un cono tridimensional en el espacio-tiempo cuatridimensional. Dicho cono se conoce como el "cono de luz futuro" del suceso. De la misma forma, podemos dibujar otro cono, llamado el "cono de luz pasado", el cual es el conjunto de sucesos desde los que un pulso de luz es capaz de alcanzar el suceso dado.



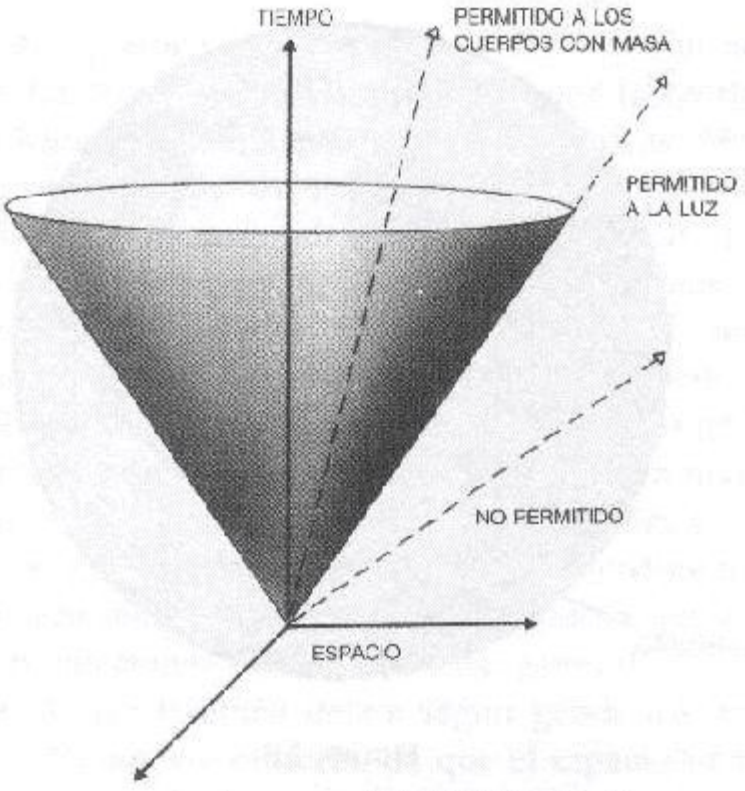
Los conos de luz futuro y pasado de un suceso P dividen al espacio-tiempo en tres regiones (figura próxima). El futuro absoluto del suceso es la región interior del cono de luz futuro de P. Es el conjunto de todos los sucesos que pueden en principio ser afectados por lo que sucede en P. Sucesos fuera del cono de luz de P no pueden ser alcanzados por señales provenientes de P, porque ninguna de ellas puede viajar más rápido que la luz. Estos sucesos no pueden, por tanto, ser influidos por lo que sucede en P. El pasado absoluto de P es la región interna del cono de luz pasado. Es el conjunto de todos los sucesos desde los que las señales que viajan con velocidades iguales o menores que la de la luz, pueden alcanzar P. Es, por consiguiente, el conjunto de todos los sucesos que en un principio pueden afectar a lo que sucede en P. Si se conoce lo que sucede en un instante particular en todos los lugares de la región del espacio que cae dentro del cono de luz pasado de P, se puede predecir lo que sucederá en P. El "resto" es la región del espacio-tiempo que está fuera de los conos de luz futuro y pasado de P. Sucesos del resto no pueden ni afectar ni ser afectados por sucesos en P. Por ejemplo, si el Sol cesara de alumbrar en este mismo instante, ello no afectaría a las cosas de la Tierra en el tiempo presente porque estaría en la región del resto del suceso correspondiente a apagarse el Sol. Sólo nos enteraríamos ocho minutos después, que es el tiempo que tarda la luz en alcanzarnos desde el Sol. Únicamente entonces estarían los sucesos de la Tierra en el cono de luz futuro del suceso en el que el Sol se apagó. De modo similar, no sabemos qué está sucediendo lejos de nosotros en el universo, en este instante: la luz que

vemos de las galaxias distantes partió de ellas hace millones de años, y en el caso de los objetos más distantes observados, la luz partió hace unos ocho mil millones de años. Así, cuando miramos al universo, lo vemos tal como fue en el pasado.





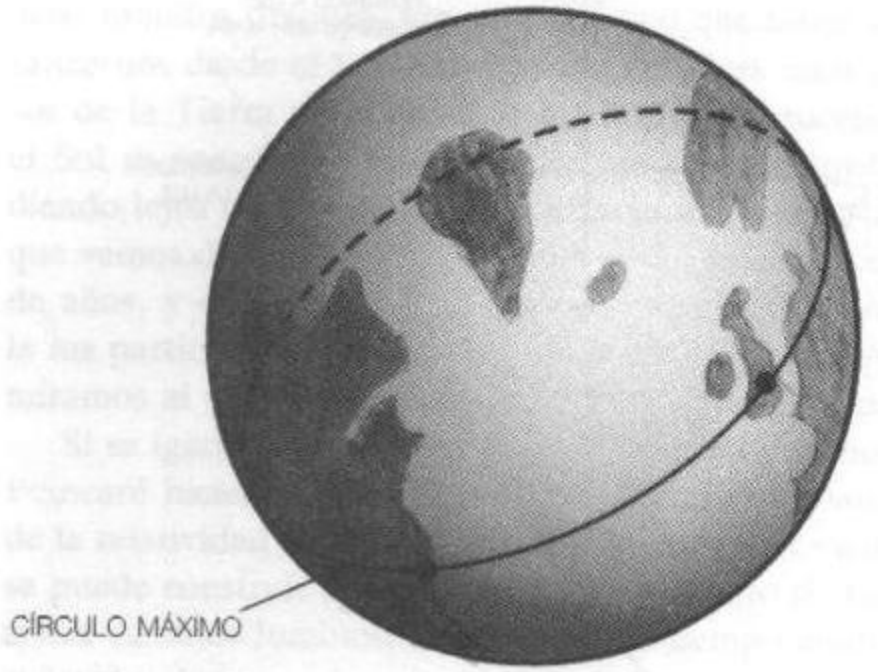
Si se ignoran los efectos gravitatorios, tal y como Einstein y Poincaré hicieron en 1905, uno tiene lo que se llama la "teoría de la relatividad especial". Para cada suceso en el espacio-tiempo se puede construir un cono de luz (el conjunto de todos los posibles caminos luminosos en el espacio-tiempo emitidos en ese suceso) y dado que la velocidad de la luz es la misma para cada suceso y en cada dirección, todos los conos de luz serán idénticos y estarán orientados en la misma dirección. La teoría también nos dice que nada puede viajar más rápido que la velocidad de la luz. Esto significa que el camino de cualquier objeto a través del espacio y del tiempo debe estar representado por una línea que cae dentro del cono de luz de cualquier suceso en ella (figura de la derecha).



La teoría de la relatividad especial tuvo un gran éxito al explicar por qué la velocidad de la luz era la misma para todos los observadores (tal y como había mostrado el experimento de Michelson-Morley) y al describir adecuadamente lo que sucede cuando los objetos se mueven con velocidades cercanas a la de la luz. Sin embargo, la teoría era inconsistente con la teo-

ría de la gravitación de Newton, que decía que los objetos se atraían mutuamente con una fuerza dependiente de la distancia entre ellos. Esto significaba que si uno movía uno de los objetos, la fuerza sobre el otro cambiaría instantáneamente. O, en otras palabras, los efectos gravitatorios deberían viajar con velocidad infinita, en vez de con una velocidad igual o menor que la de la luz, como la teoría de la relatividad especial requería. Einstein realizó, entre 1908 y 1914, varios intentos, sin éxito, para encontrar una teoría de la gravedad que fuera consistente con la relatividad especial. Finalmente, en 1915, propuso lo que hoy en día se conoce como "teoría de la relatividad general".

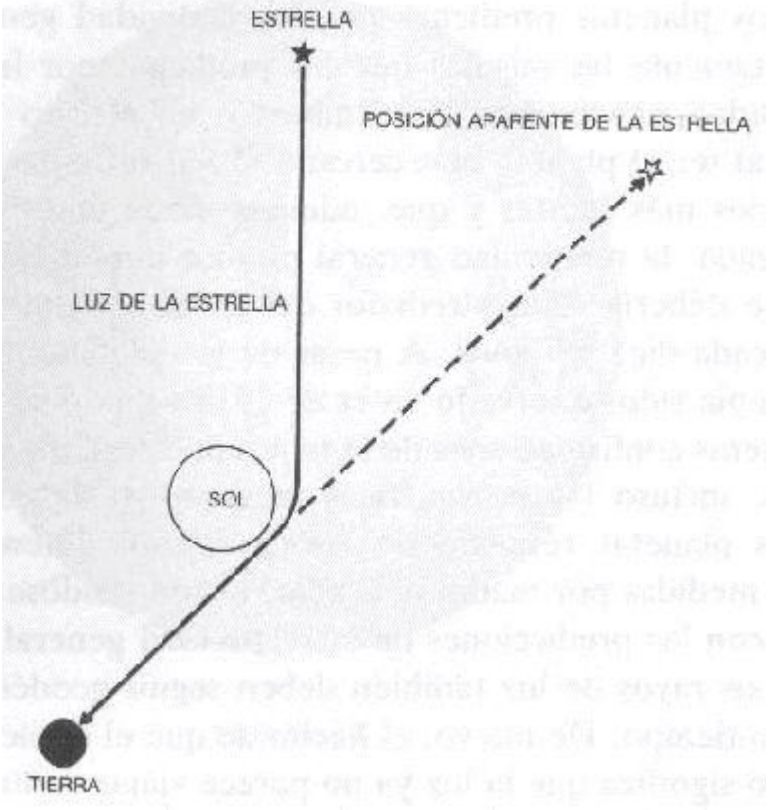
Einstein hizo la sugerencia revolucionaria de que la gravedad no es una fuerza como las otras, sino que es una consecuencia de que el espacio-tiempo no sea plano, como previamente se había supuesto: el espacio-tiempo está curvado, o "deformado", por la distribución de masa y energía en él presente. Los cuerpos, como la Tierra, no están forzados a moverse en órbitas curvas por una fuerza llamada gravedad; en vez de esto, ellos siguen la trayectoria más parecida a una línea recta en un espacio curvo, es decir, lo que se conoce como una "geodésica". Una geodésica es el camino más corto (o más largo) entre dos puntos cercanos. Por ejemplo, la superficie de la Tierra es un espacio curvo bidimensional. Las geodésicas en la Tierra se llaman "círculos máximos", y son el camino más corto entre dos puntos (ver figura de abajo). Como la geodésica es el camino más corto entre dos aeropuertos cualesquiera, el navegante de líneas aéreas le dirá al piloto que vuele a lo largo de ella. En relatividad general, los cuerpos siguen siempre líneas rectas en el espacio-tiempo cuatridimensional; sin embargo, nos parece que se mueven a lo largo de trayectorias curvadas en nuestro espacio tridimensional. Esto es como ver a un avión volando sobre un terreno montañoso: aunque sigue una línea recta en el espacio tridimensional, su sombra seguirá un camino curvo en el suelo bidimensional (ver Nota-4, página 38).



La masa del Sol curva el espacio-tiempo de tal modo que, a pesar de que la Tierra sigue un camino recto en el espacio-tiempo cuatridimensional, nos parece que se mueve en una órbita circular en el espacio tridimensional. De hecho, las órbitas de los planetas predichas por la relatividad general son casi exactamente las mismas que las predichas por la teoría de la gravedad newtoniana. Sin embargo, en el caso de Mercurio, que al ser el planeta más cercano al Sol sufre los efectos gravitatorios más fuertes y que, además, tiene una órbita bastante alargada, la relatividad general predice que el eje mayor de su elipse debería rotar alrededor del Sol a un ritmo de un grado por cada diez mil años. A pesar de lo pequeño de este efecto, ya había sido observado antes de 1915 y sirvió como una de las primeras confirmaciones de la teoría de Einstein. En los últimos años, incluso las desviaciones menores de las órbitas de los otros planetas respecto de las predicciones new-

tonianas han sido medidas por medio del radar, encontrándose que concuerdan con las predicciones de la relatividad general.

Los rayos de luz también deben seguir geodésicas en el espacio-tiempo. De nuevo, el hecho de que el espacio-tiempo sea curvo significa que la luz ya no parece viajar en líneas rectas en el espacio. Así, la relatividad general predice que la luz debería ser desviada por los campos gravitatorios. Por ejemplo, la teoría predice que los conos de luz de puntos cercanos al Sol estarán torcidos hacia dentro, debido a la presencia de la masa del Sol. Esto quiere decir que la luz de una estrella distante, que pase cerca del Sol, será desviada un pequeño ángulo, con lo cual la estrella parecerá estar, para un observador en la Tierra, en una posición diferente a aquélla en la que de hecho está (ver figura de abajo). Desde luego, si la luz de la estrella pasara siempre cerca del Sol, no seríamos capaces de distinguir si la luz era desviada sistemáticamente, o si, por el contrario, la estrella estaba realmente en la posición donde la vemos. Sin embargo, dado que la Tierra gira alrededor del Sol, diferentes estrellas parecen pasar por detrás del Sol y su luz es desviada. Cambian, así pues, su posición aparente con respecto a otras estrellas (ver Nota-5, página 39).



Normalmente es muy difícil apreciar este efecto, porque la luz del Sol hace imposible observar las estrellas que aparecen en el cielo cercanas a él. Sin embargo, es posible observarlo durante un eclipse solar, en el que la Luna se interpone entre la luz del Sol y la Tierra. Las predicciones de Einstein sobre las desviaciones de la luz no pudieron ser comprobadas inmediatamente, en 1915, a causa de la primera guerra mundial, y no fue posible hacerlo hasta 1919, en que una expedición británica, observando un eclipse desde África oriental, donde se demostró que la luz era verdaderamente desviada por el Sol, justo como la teoría predecía. Esta comprobación de una teoría alemana por científicos británicos fue reconocida como un gran acto de reconciliación entre los dos países después de la guerra. Resulta irónico que un examen posterior de las fotografías tomadas por aquella expedición mostrara que los errores cometidos eran tan grandes como el efecto que se trataba de medir. Sus medidas habían sido o un caso de suerte, o un caso de conocimiento del resultado que se quería obtener, lo que ocurre con relativa frecuencia en la ciencia. La desviación de la luz ha sido, no obstante, confirmada con precisión por numerosas observaciones posteriores.

Otra predicción de la relatividad general es que el tiempo debería transcurrir más lentamente cerca de un cuerpo de gran masa como la Tierra. Ello se debe a que hay una relación entre la energía de la luz y su frecuencia (es decir, el número de ondas de luz por segundo): cuanto mayor es la energía, mayor es la frecuencia. Cuando la luz viaja hacia arriba en el campo gravitatorio terrestre, pierde energía y, por lo tanto, su frecuencia disminuye. Esto significa que el período de tiempo entre una cresta de la onda y la siguiente aumenta. A alguien situado arriba le parecería que todo lo que pasara abajo, en la Tierra, transcurriría más lentamente (ver Nota-6, página 39). Esta predicción fue comprobada en 1962, usándose un par de relojes muy precisos instalados en la parte superior e inferior de un depósito de agua. Se encontró que el de abajo, que estaba más cerca de la Tierra, iba más lento, de acuerdo exactamente con la relatividad general. La diferencia entre relojes a diferentes alturas de la Tierra es, hoy en día, de considerable importancia práctica debido al uso de sistemas de navegación muy precisos, basados en señales provenientes de satélites. Si se ignoraran las predicciones de la relatividad general, la posición que uno calcularía tendría un error de varios kilómetros.

Las leyes de Newton del movimiento acabaron con la idea de una posición absoluta en el espacio. La teoría de la relatividad elimina el concepto de un tiempo absoluto. Consideremos un par de gemelos. Supongamos que uno de ellos se va a vivir a la cima de una montaña, mientras que el otro permanece al nivel del mar. El primer gemelo envejecerá más rápidamente que el segundo. Así, si volvieran a encontrarse, uno sería más viejo que el otro. En este caso, la diferencia de edad seria muy pequeña, pero sería mucho mayor si uno de los gemelos se fuera de viaje en una nave espacial a una velocidad cercana a la de la luz. Cuando volviera, sería mucho más joven que el que se quedó en la Tierra. Esto se conoce como la "paradoja de los gemelos", pero es sólo una paradoja si uno tiene siempre metida en la cabeza la idea de un tiempo absoluto. En la teoría de la relatividad no existe un tiempo absoluto único, sino que cada individuo posee su propia medida personal del

tiempo, medida que depende de dónde está y de cómo se mueve.

Antes de 1915, se pensaba en el espacio y en el tiempo como si se tratara de un marco fijo en el que los acontecimientos tenían lugar, pero que no estaba afectado por lo que en él sucediera. Esto era cierto incluso en la teoría de la relatividad especial. Los cuerpos se movían, las fuerzas atraían y repelían, pero el tiempo y el espacio simplemente continuaban, sin ser afectados por nada. Era natural pensar que el espacio y el tiempo del universo material habían existido desde siempre.

La situación es, sin embargo, totalmente diferente en la teoría de la relatividad general. En ella, el espacio y el tiempo son cantidades dinámicas: cuando un cuerpo se mueve, o una fuerza actúa, afecta a la curvatura del espacio y del tiempo, y, en contrapartida, la estructura del espacio-tiempo afecta al modo en que los cuerpos se mueven y las fuerzas actúan. El espacio y el tiempo no sólo afectan, sino que también son afectados por todo aquello que sucede en el universo material.

En las décadas siguientes al descubrimiento de la relatividad general, estos nuevos conceptos de espacio y tiempo iban a revolucionar nuestra imagen del universo. La vieja idea de un universo esencialmente inalterable que podría haber existido, y que podría continuar existiendo por siempre, fue reemplazada por el concepto de un universo material dinámico, en expansión, que parecía haber comenzado hace cierto tiempo finito, y que podría acabar en un tiempo finito en el futuro.

Notas.

A continuación se dan una serie de comentarios, o notas, que sirven para esclarecer lo dicho en algunas exposiciones o frases del texto precedente.

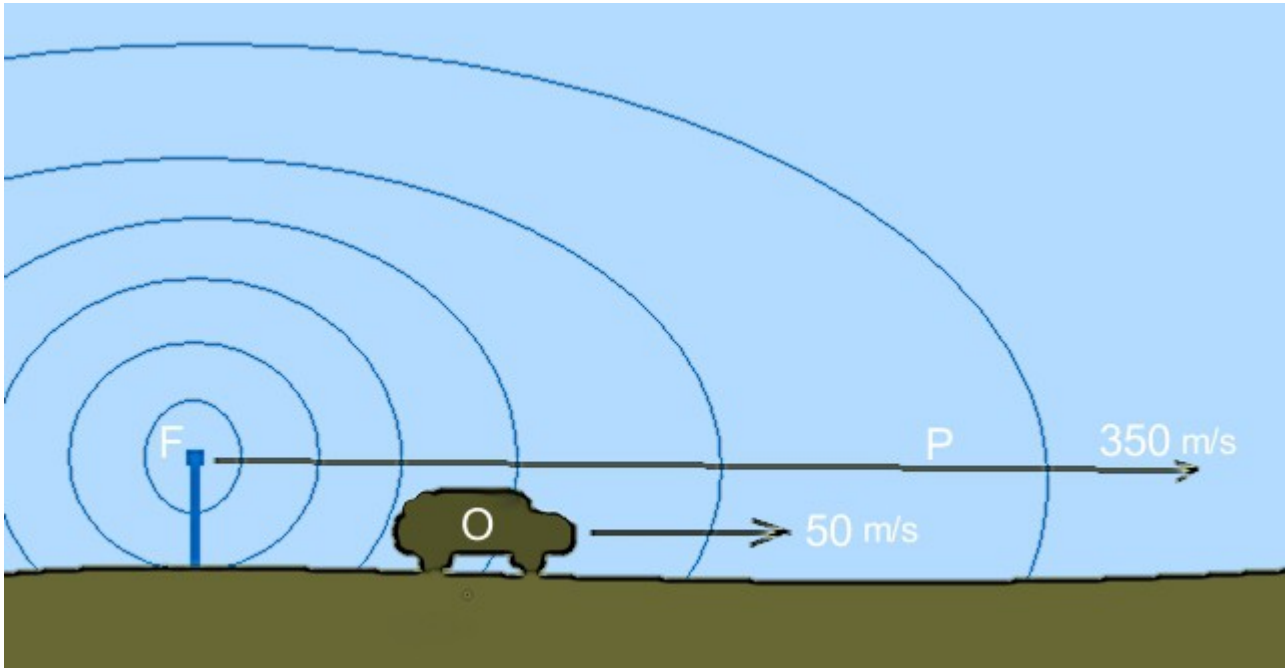
Nota-1 (velocidad de la luz).

La teoría de Newton (física clásica) considera el tiempo con carácter absoluto, lo cual quiere decir que cualesquiera dos eventos o sucesos que se produzcan en el universo material, separados entre sí por un lapso T de tiempo (sucesos no simultáneos, como, por ejemplo, un disparo y el impacto subsiguiente de la bala sobre un blanco lejano) serán medidos cronométricamente por cualquier observador (sin importar la velocidad inercial de éste) con el mismo valor T siempre. Por otra parte, aunque Newton era reacio a aceptar la naturaleza ondulatoria de la luz (pues para él la luz era corpuscular o constituida por micropartículas), su teoría, que le sobrevivió largamente, se hizo a la postre compatible con la idea de una velocidad finita para la luz y admitió el carácter ondulatorio de la misma, incorporando la noción de "éter" como necesidad teórica para identificar el medio en el cual las ondas luminosas se propagarían a una velocidad fija (tal como el sonido se propaga en el aire a una velocidad fija).

Desde esa óptica, al igual que sucede con el sonido, se creía que la velocidad de la luz era diferente según el estado cinemático del observador. Así, en el aire (tal como en el éter) la onda sonora (luminosa, en el caso del éter) se propaga a una velocidad fija V, tomando como referencia el aire (o el éter), es decir, considerando el aire (o el éter) como en reposo absoluto. Pues bien, un observador O puede estar en reposo con relación al éter (velocidad nula) o en movimiento lineal uniforme (velocidad constante) con relación a éste (se desechan los movimientos no uniformes, como las aceleraciones, porque no sirven en calidad de sistemas de referencia inerciales). Ahora, centremos primero la atención en el caso del sonido.

Consideraremos un gran volumen de aire en condiciones normales (viento suave, presión atmosférica a nivel del mar y temperatura ambiente primaveral). Aunque el aire se desplaza con el movimiento del planeta, vamos a suponerlo en reposo absoluto, para que nos sirva de sistema de referencia. Un pulso sonoro P se des-

plaza en el seno del fluido aéreo a una velocidad prácticamente constante, de unos 350 metros/segundo. Ésa es la velocidad con la que un observador en estado de reposo respecto al aire detectará que se mueve el pulso P. Ahora bien, supongamos que el observador O se desplaza en un vehículo a la velocidad constante de 50 metros/segundo y en sentido radial respecto de la fuente sonora F que generó el pulso P, y alejándose de ella. Es evidente que este observador, si se toma así mismo como sistema de referencia (en reposo), medirá una velocidad del pulso P de 300 metros/segundo:



Pues bien, los físicos clásicos creían que la luz en el seno del éter se comportaba de la misma manera que el sonido en el seno del aire. Así, un observador O en reposo con relación al éter detectaría una velocidad V para un pulso de luz, mientras que otro observador O´ que se moviera con relación al éter (a favor o en contra, radialmente, respecto de una fuente luminosa F que generara un pulso P de luz) detectaría una velocidad V´ distinta para el mismo pulso de luz P. Como a la velocidad V_P del pulso de luz P se le puede aplicar la conocida fórmula $V_P = E/T$, donde E es el espacio recorrido por P durante un tiempo T, entonces O y O´ deberían medir diferentes velocidades V y V´ para V_P:

$$V = V_P = E/T$$
$$V' = E'/T$$

El tiempo T es el mismo, pues la física clásica lo supone absoluto (invariable para todos los observadores), y ello obliga necesariamente, para que se cumpla que $V \neq V'$, a tener que admitir que $E \neq E'$ (el espacio no es absoluto sino variable, según la medición de cada observador). Esto es lo que se quiere dar a entender por "tiempo absoluto" y "espacio no absoluto (o relativo)" dentro del marco teórico de la física newtoniana.

Nota-2 (tiempo relativista).

La teoría de Einstein (física relativista) considera la velocidad de la luz, no el tiempo, con carácter absoluto. Esto significa que todos los observadores, en independencia de sus respectivas velocidades inerciales, deben coincidir en medir la misma velocidad V_C (velocidad constante) para un pulso P luminoso, siendo dicha velocidad en el vacío igual a "c" (esto es, 300.000 km/s). En realidad, la teoría relativista no altera nada de la teoría newtoniana salvo que iguala V y V´ (ver Nota anterior), haciendo ambas igual a $V_C = c$. O sea:

$$V = V_P = E/T = c$$
$$V' = E'/T = c$$

Este forzamiento conduce a:

$$c = E/T$$
$$c = E'/T$$

Es decir:

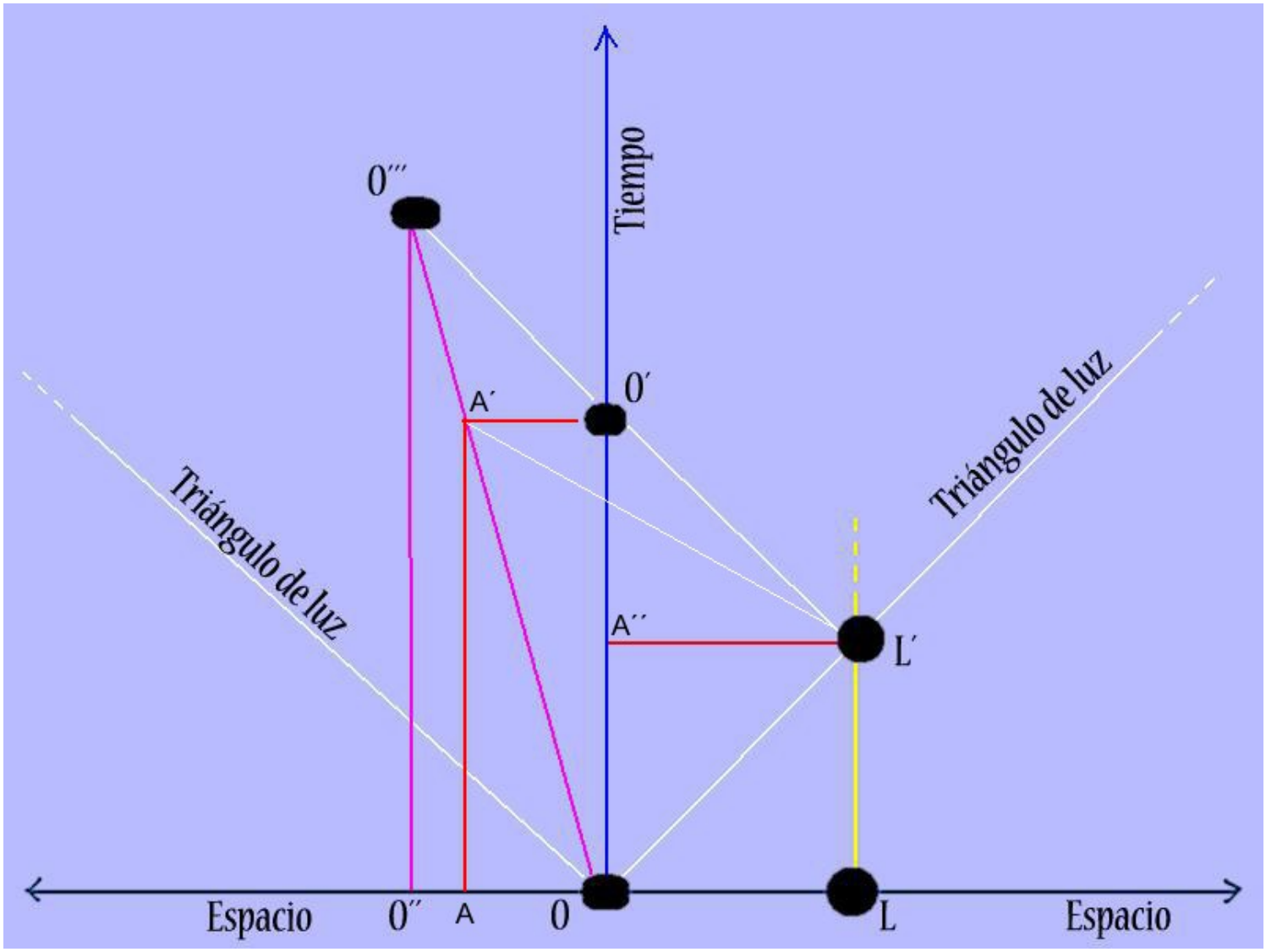
$$E/T = E'/T$$

Con lo cual se obliga a desigualar T:

$$E/T = E'/T'$$

Entonces, finalmente pues, en la teoría relativista lo único absoluto es "c".

Nota-3 (espacio y tiempo relativistas).



El dibujo de arriba muestra un diagrama espacio-temporal bidimensional (el cual es una versión extremadamente simple de lo que ocurre realmente en el espacio tetradimensional relativista), al objeto de facilitar al máximo los razonamientos. El espacio tridimensional, pues, ha sido reducido a un espacio unidimensional o lineal (línea recta horizontal, o eje de abscisas); en tanto que el tiempo conserva su carácter unidimensional (línea recta vertical, o eje de ordenadas). Lo que en un diagrama tridimensional se llamaría "cono de luz", en un diagrama bidimensional tiene evidentemente que llamarse "triángulo de luz". Los lados de dicho triángulo de luz (de vértice O) corresponden a las fronteras o límites marcados por la velocidad de la luz, de tal manera que a la izquierda y derecha de tal triángulo invertido (vértice colocado abajo) no puede darse ningún tipo

de fenomenología en nuestro universo material, puesto que de otro modo rebasaría la velocidad "c".

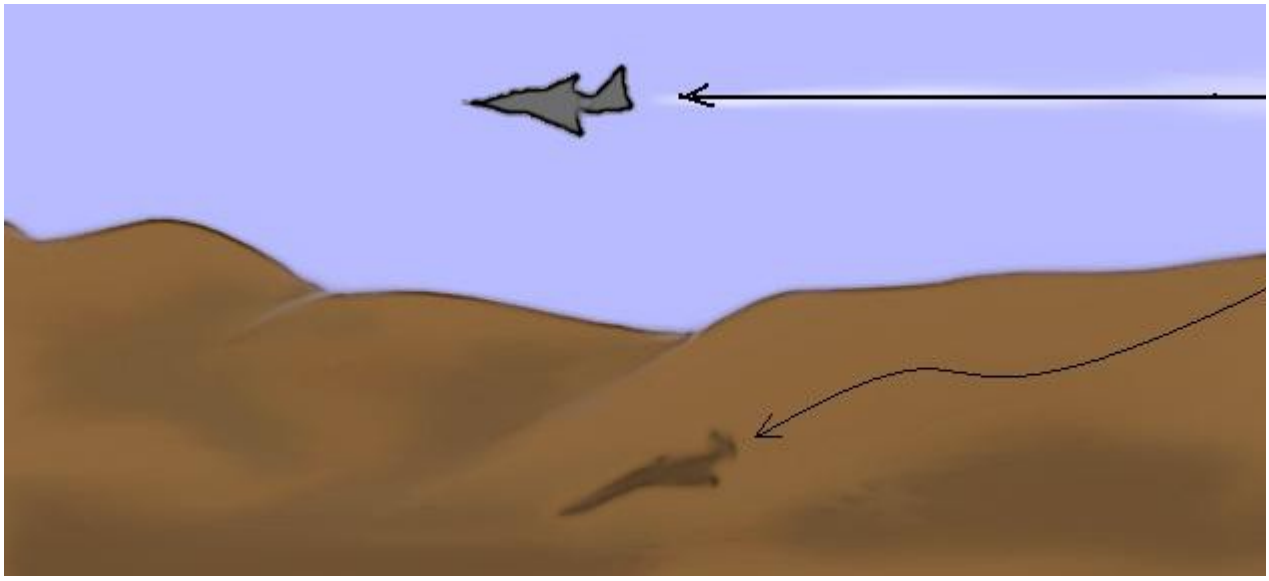
El segmento OL del eje espacial corresponde a la distancia entre el observador (O) y la Luna (L) en un instante inicial arbitrario de tiempo, t_0. La línea vertical amarilla LL´ denota que la Luna (L) permanece inmóvil con respecto a este sistema de referencia O´OL inercial (el cual posee una velocidad constante o inercial, por no estar sometido a aceleraciones), por lo que sólo se desplaza en el eje temporal; y lo mismo puede decirse de la línea vertical OO´ , correspondiente al caso en el que el observador (O) también permanece relativamente inmóvil respecto al mismo sistema referencial. Ello significa, en otras palabras, que tanto el observador (O) como la Luna (L) permanecen a la misma distancia el uno de la otra. La línea OL´ corresponde al envío por parte de O de un pulso luminoso que debe rebotar en L´ (la Luna tras un tiempo igual a $\frac{1}{2}$ OO´) y ser recogido por O´ (el observador tras un tiempo igual a OO´).

No obstante, si el observador (O) se moviera alejándose de la Luna (L) en el sentido espacial OO" entonces al emitir un pulso luminoso en O lo recibiría de vuelta (eco) en en A´ , con lo cual tardaría más en recibirlo que si hubiera permanecido inmóvil espacialmente y sólo se hubiera desplazado (inevitablemente) por la línea temporal OO´ ; o sea, que la línea espacial que recorrerá el pulso luminoso LA será evidentemente mayor que la LO.

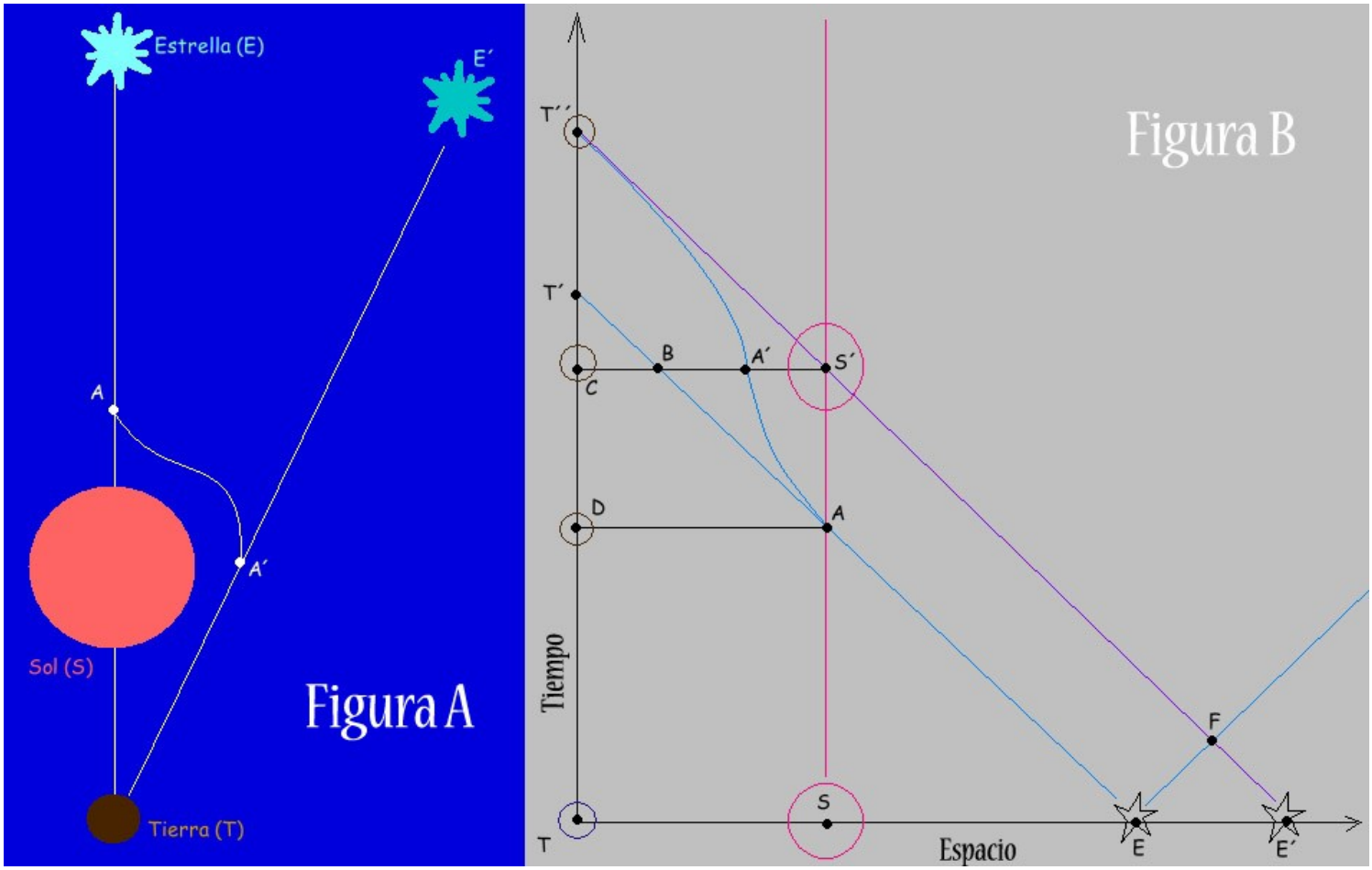
Por consiguiente, distintos observadores en movimiento relativo entre sí asignarán tiempos y posiciones diferentes a un mismo suceso. Ninguna medida de cualquier observador particular es más correcta que la de cualquier otro observador, sino que todas son equivalentes y además están relacionadas entre sí. Cualquier observador puede calcular de forma precisa la posición y el tiempo que cualquier otro observador asignará a un determinado evento, con tal de que sepa la velocidad relativa del otro observador.

Nota-4 (Deformación del espacio).

En el espacio-tiempo tetradimensional, la componente espacial (espacio tridimensional) es deformada por las distribuciones de energía y masa en ella, razón por la cual nosotros vemos curvada la trayectoria de la Tierra en torno al Sol, puesto que sólo percibimos las tres dimensiones del Espacio y no la componente o dimensión adicional del Tiempo. Esto significa que en el espacio-tiempo cuatridimensional einsteniano la Tierra sigue una trayectoria recta (según la definición de recta en dicho espacio), pero su proyección o sombra en el espacio tridimensional se manifiesta por medio de una trayectoria curvada. Esto es similar a la analogía de un avión que vuela sobre un terreno montañoso: el aparato, aunque sigue una línea recta en el espacio tridimensional formado por el cielo y la tierra, su sombra sobre la superficie arrugada por el relieve montañoso seguirá un camino curvilíneo en el suelo bidimensional deformado (es decir, en esa superficie no plana):



Nota-5 (lente gravitatoria).

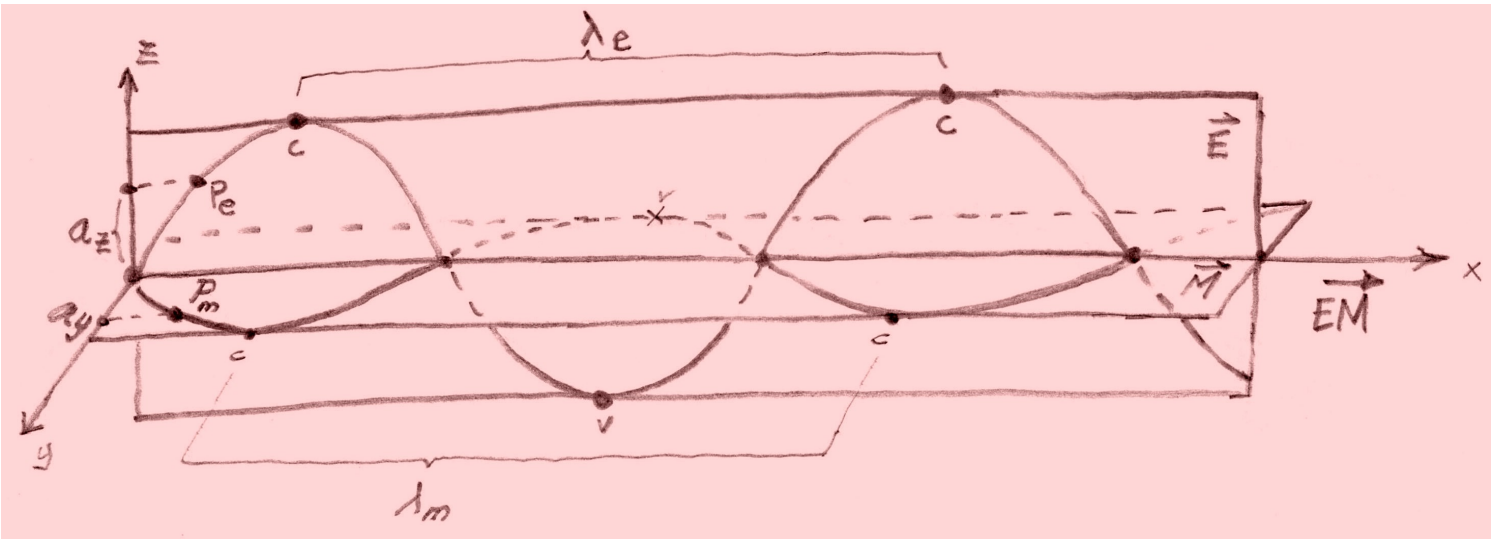


En la Figura A de arriba se ha representado la luz viajando desde una estrella E hasta la Tierra T, con el Sol S interpuesto en el camino. La masa solar S curva el espacio-tiempo haciendo que el rayo luminoso EA se desvíe curvilíneamente en AA´ y, tras alejarse del campo gravitatorio solar, retome en A´T la trayectoria rectilínea de nuevo. Este fenómeno se representa en el diagrama espacio-temporal de la Figura B mediante un triángulo de luz FEA, con vértice en la estrella E, que se deforma en AA´ y que tiende a recobrar la rectilineidad en el tramo final A´T. Se observa, por tanto, una demora T´T" en la llegada a la Tierra del rayo procedente de E a causa de la desviación del mismo en las inmediaciones del Sol. Tal demora será interpretada en la Tierra según la línea E´T" correspondiente a un ficticio triángulo de luz, lo cual desplaza el evento o suceso (la emisión luminosa de E) un tramo EE´ en el espacio (contemplado tanto en la Figura A como en la B). Así, pues, en el diagrama de la Figura B la masa solar genera en el triángulo de luz un curvamiento hacia dentro de la línea frontera ET´. Esto puede aplicarse, por extensión, al cono de luz de un diagrama espacio-temporal tridimensional, ya que aquí, para simplificar las cosas, hemos optado por un diagrama bidimensional.

Nota-6 (ralentización gravitatoria).

La teoría electromagnética, usada por Einstein para el desarrollo de la relatividad, postula que las ondas electromagnéticas (entre ellas las ondas luminosas, como caso particular) son propagaciones energéticas en el espacio (hoy día se asume que son excitaciones o perturbaciones en el campo cuántico electromagnético) que equivalen a vibraciones ondulatorias sobre 2 campos perpendiculares entre sí, a saber: el campo eléctrico (vectorial) y el campo magnético (también vectorial):

Campo eléctrico: $\vec{E}$ Campo magnético: $\vec{M}$ Campo electromagnético: $\vec{EM}$



Para el estudio analítico de dicho campo electromagnético (vectorial) es necesario tener en cuenta los siguientes elementos notables:

a_y : Amplitud (positiva o negativa), medida sobre el eje Oy, de un punto cualquiera P_m perteneciente a la curva ondulatoria del campo magnético $\vec{M}$.

a_z : Amplitud (positiva o negativa), medida sobre el eje Oz, de un punto cualquiera P_e perteneciente a la curva ondulatoria del campo eléctrico $\vec{E}$.

c : Crestas o puntos de amplitudes positivas de valor máximo de la curva ondulatoria de ambos campos.

v : Valles o puntos de amplitudes negativas de valor absoluto máximo de la curva ondulatoria de ambos campos.

λ_e : Longitud de onda del campo eléctrico, medida sobre el eje Ox, correspondiente al segmento comprendido entre dos crestas consecutivas.

λ_m : Longitud de onda del campo magnético, medida sobre el eje Ox, correspondiente al segmento comprendido entre dos valles consecutivos.

$\vec{EM}$: Campo electromagnético.

Además de esto, es conveniente tener en cuenta los siguientes conceptos:

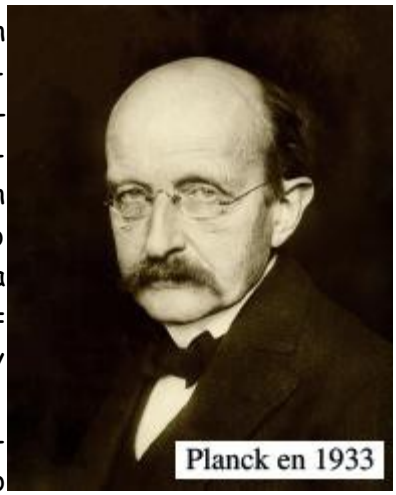
λ : Longitud de onda del campo electromagnético, medida sobre el eje Ox, correspondiente al segmento entre dos crestas o valles consecutivos, puesto que $\lambda_e = \lambda_m$.

f : Frecuencia o número de veces que la onda vibra (cada vibración equivale a la proyección sobre el Oy u Oz de una λ) por segundo.

T : Periodo o tiempo que tarda en producirse una vibración. Dado que $fT = 1$, es evidente que el periodo T es el inverso de la frecuencia f, es decir: $T = \frac{1}{f}$

c : Velocidad de la luz en el vacío, igual para todas las ondas electromagnéticas, aproximadamente 300.000 km/segundo. No confundir con la c de cresta.

Según lo expuesto, se cumple que: $c = \lambda \cdot f$ $\Rightarrow$ $c = \lambda / T$



Max Planck (1859-1947), en 1900, llegó a la conclusión de que la radiación sólo podía ser emitida o absorbida de forma discontinua o, si se quiere, que los átomos no pueden absorber o emitir cualquier valor de energía, sino sólo unos valores concretos. Las posibles energías intermedias entre dos de estos valores concretos no podían ser absorbidas ni emitidas. Así, la energía de cualquier radiación electromagnética tiene que ser n veces un valor elemental que él llamó "quanta" o "quantum" (cuanto, en español). Ese valor elemental de energía E es igual a una constante h multiplicada por la frecuencia f de la radiación: $E = h \cdot f$ (donde h = $6'6 \cdot 10^{-34}$ julios · segundo). La constante h se denomina "constante de Planck" y es una de las constantes fundamentales de nuestro universo.

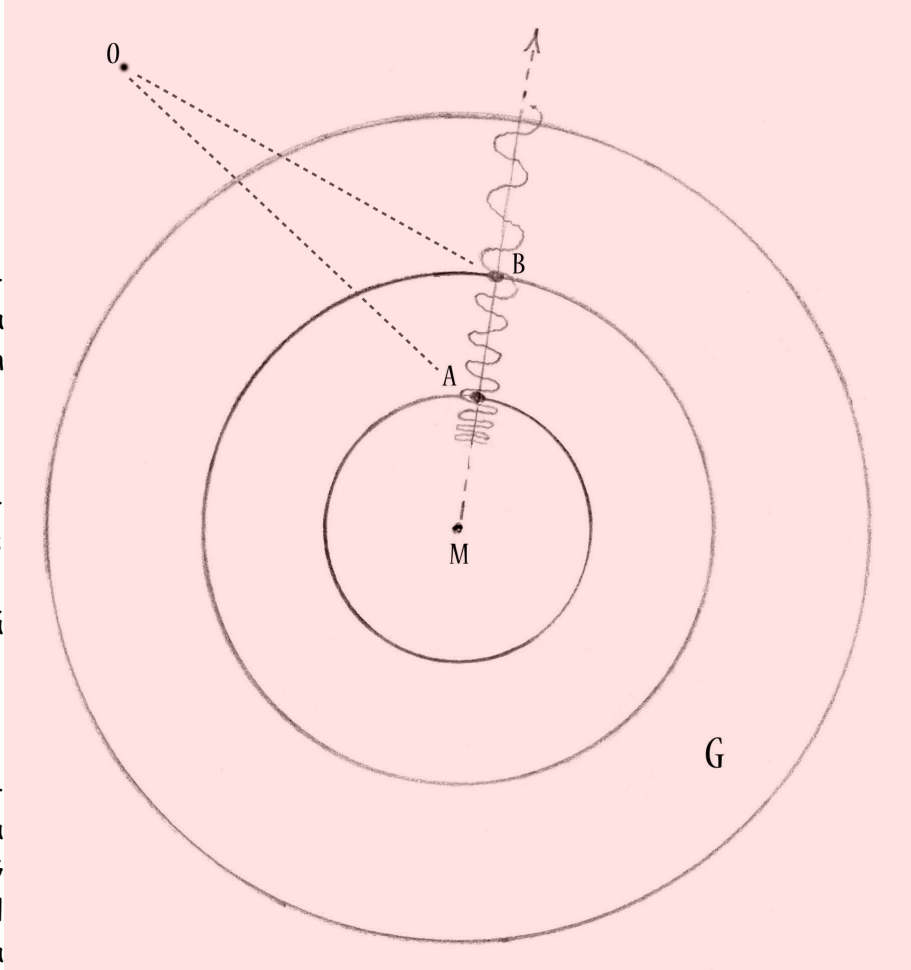
Consideremos un hipotético "rayo" de luz que viaja centrífugamente y radialmente contra un campo gravitatorio G creado por una masa M, haciéndolo desde un punto A hasta otro punto B del campo G, estando A a menor distancia de M que B. Debido al efecto denominado "dilatación gravitacional del tiempo" (cuyo planteamiento teórico es demasiado difícil para ser considerado en estas páginas, por lo que sólo nos basta con saber que en las inmediaciones de un campo gravitatorio el tiempo se ralentiza y que lo hace tanto más cuanto mayor sea la intensidad del campo), el tiempo transcurrirá más lentamente en A que en B (dado que la intensidad de G en A es mayor que en B, en razón a que A está más próximo a M que B).

Por consiguiente, un observador en B medirá un Periodo mayor T_B de la onda luminosa que un observador en A, el cual medirá T_A, o sea, $T_A < T_B$. Como la frecuencia f de una onda es el inverso de su período, f = 1/T, el observador B medirá una Frecuencia menor f_B que el observador A, el cual medirá f_A, o sea, $f_B < f_A$. Por consiguiente:

$$f_A = 1/T_A, \quad f_B = 1/T_B$$

De donde:

$$f_A \cdot T_A = 1, \quad f_B \cdot T_B = 1 \quad \Rightarrow$$
$$f_A \cdot T_A = f_B \cdot T_B \quad \Rightarrow$$
$$f_B / f_A = T_A / T_B \quad \Rightarrow$$
$$f_B / f_A = 1 / (T_B / T_A).$$



Ésta es la relación entre la variación de la frecuencia de la luz f_B / f_A y la dilatación temporal T_B / T_A, la cual también puede escribirse de la siguiente manera:

$$T_B / T_A = 1 / (f_B / f_A).$$

Así, por ejemplo, si el período medido por B es el doble que el medido por A:

$$T_B / T_A = 2$$

Entonces la frecuencia medida por B será la mitad que la medida por A:

$$f_B / f_A = 1/2.$$

Todo esto significa que para un observador O, situado hipotéticamente fuera de la influencia de G (o para el cual es G prácticamente despreciable), una onda λ del rayo luminoso considerado en B posee una

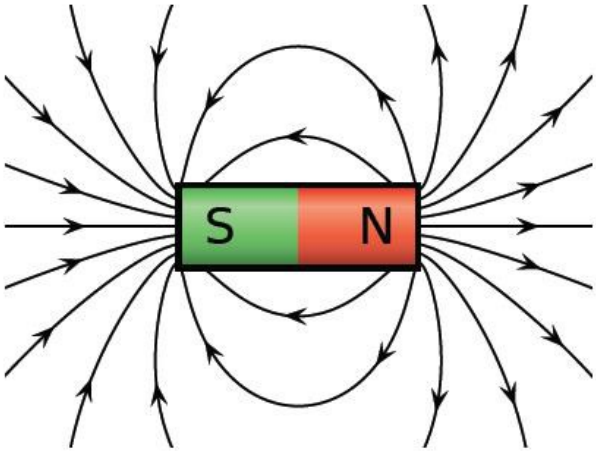
longitud L_B mayor que una onda λ del mismo rayo luminoso en A, L_A. Por lo tanto, para que se cumpla la relación $\mathbf{f_A \cdot T_A = f_B \cdot T_B}$ es necesario, pues, que aumente la frecuencia en A y disminuya la misma en B. Así, ambos observadores A y B creerán que pasa la misma cantidad de ondas (tren de ondas) por unidad de tiempo a través de sus respectivos puestos de observación; en tanto que sólo O detectará la diferencia de frecuencias y la diferencia de periodos (o tiempos) que afectan a A y a B.

Según la ecuación de Planck, $\mathbf{E = h \cdot f}$, el valor de la energía E_A del rayo luminoso en A es igual a $E_A = h \cdot f_A$ y el valor de la energía E_B del mismo rayo en B es $E_B = h \cdot f_B$. Por lo tanto, dado que desde O es $f_A > f_B$, se hace patente que para O es $E_A > E_B$. Ahora bien, este O puede tomarse (en este caso) como el árbitro final de la medición y, por consiguiente, su veredicto señalaría cuál es el resultado teórico que nos interesa.

Unificación de campos.

En física, un "campo" representa la distribución espacial de una magnitud que muestra cierta variación en una región del espacio. Matemáticamente, los campos se representan mediante una función que los define. Gráficamente, se suelen representar mediante líneas o superficies de igual magnitud. Históricamente, el concepto de "campo" fue introducido para explicar la acción a distancia de las fuerzas de gravedad, eléctrica y magnética, aunque con el tiempo su significado se ha extendido para describir variaciones de temperatura, tensiones mecánicas en un cuerpo, propagación de ondas, etc.

Se dice que existe un campo asociado a una magnitud física, en una región del espacio, si se puede asignar un valor a dicha magnitud para todos los puntos de dicha región en cada instante. Los sistemas físicos formados por un conjunto de partículas interactuantes de la mecánica clásica y los sistemas físicos de partículas relativistas sin interacción, son sistemas cuyas ecuaciones de movimiento vienen dadas por ecuaciones diferenciales ordinarias. Sin embargo, los campos físicos, además de evolución temporal o variación en el tiempo, presentan variación en el espacio. Esa característica hace que sus ecuaciones de "movimiento" o evolución temporal vengan dadas mejor por ecuaciones en derivadas parciales, en lugar de ecuaciones diferenciales ordinarias.



Representación gráfica de un campo magnético mediante "líneas de fuerza".

Desde un punto de vista matemático, los campos físicos pueden ser fundamentalmente de 4 tipos: Campos escalares, o aquéllos en los que cada punto del espacio lleva asociado una magnitud escalar (campo de temperaturas de un sólido, campo de presiones atmosféricas, etc.). Campos vectoriales, o aquéllos en los que cada punto del espacio lleva asociado una magnitud vectorial (campos de fuerzas). Campos tensoriales, o aquéllos en los que cada punto del espacio lleva asociado un tensor (campo electromagnético en electrodinámica clásica, campo gravitatorio en teoría de la relatividad general, campo de tensiones de un sólido, etc.). Campos espinoriales, o aquéllos en los que se generaliza el tipo anterior y que aparecen sólo en mecánica cuántica y teoría cuántica de campos.

En física, pues, el concepto surgió ante la necesidad de explicar la forma de interacción entre cuerpos en ausencia de contacto físico y sin medios de sustentación para las posibles interacciones. La acción a distancia se explica, entonces, mediante efectos provocados por la entidad causante de la interacción, sobre el espacio mismo que la rodea, permitiendo asignar a dicho espacio propiedades medibles. Así, resulta posible hacer corresponder a cada punto del espacio valores que dependerán de la magnitud del cuerpo que provoca la interacción y de la ubicación del punto que se considera. Los campos más conocidos en física clásica son: El campo electromagnético, descomponible para cada observador en dos campos, a saber, el campo electrostáti-

co y campo magnético; en física newtoniana el campo electromagnético puede ser tratado como dos campos vectoriales, aunque en física relativista el campo electromagnético se trata como un campo tensorial, derivable de un único campo vectorial cuatridimensional. El campo gravitatorio, que en mecánica newtoniana puede ser tratado como un campo vectorial derivable de un campo escalar; en cambio la descripción de la gravedad en la teoría general de la relatividad es más compleja y requiere definir un tensor de segundo rango, llamado "tensor métrico" sobre un espacio-tiempo curvo.

En 1831, Michael Faraday observó que la variación en el tiempo de los campos magnéticos podía inducir corrientes eléctricas. Hasta entonces, la electricidad y el magnetismo se consideraban como fenómenos no relacionados entre sí. En 1864, James Clerk Maxwell publicó su famosa teoría de campos electromagnéticos. Éste fue el primer ejemplo histórico de una teoría física unificadora o que podía unificar teorías anteriores (electricidad y magnetismo, dando lugar al electromagnetismo). No obstante, hoy se sabe que la electrodinámica clásica desarrollada por Maxwell falla a niveles cuánticos. En los años 1940 se alcanzó una teoría cuántica completa para describir la fuerza electromagnética, conocida como "electrodinámica cuántica" (QED). Esta teoría representa las interacciones de las partículas cargadas mediante fotones, o las partículas que transmiten la interacción. Esta teoría se basa en la simetría del espacio-tiempo de un campo llamada "simetría gauge" (simetría de fase). La teoría tuvo tanto éxito que rápidamente se adoptó el principio de la "simetría gauge" continua para todas las fuerzas.

En 1967, Los estadounidenses Sheldon Glashow y Steven Weinberg y el pakistaní Abdus Salam propusieron de manera independiente una teoría unificadora del electromagnetismo y la fuerza nuclear débil. Demostraron que el "campo gauge" de la interacción débil era idéntico en su estructura al del campo electromagnético. Esta teoría recibió soporte experimental por el descubrimiento, en 1983, de los bosones W y Z en el CERN por el equipo de Carlo Rubbia. Por sus descubrimientos, Glashow, Weinberg y Salam compartieron el Premio Nobel de Física en 1979. Carlo Rubbia y Simon van der Meer recibieron el mismo premio en 1984.

El siguiente paso hacia la unificación de las fuerzas fundamentales de la naturaleza (gravedad, electromagnetismo, fuerza nuclear débil y fuerza nuclear fuerte) fue el incluir la interacción fuerte con las fuerzas electrodébiles en una teoría llamada "Gran Teoría Unificada". Una teoría cuántica de la interacción fuerte fue desarrollada en los años 1970 bajo el nombre de "cromodinámica cuántica". La interacción fuerte actúa entre quarks mediante el intercambio de partículas llamadas gluones. Hay ocho tipos de gluones, cada uno transportando una carga de color y una carga de anti-color. Basándose en esta teoría, Sheldon Glashow y Howard Georgi propusieron la primera gran teoría unificada en 1974, que se aplicaba a energías por encima de los 1000 GeV. Desde entonces ha habido nuevas propuestas, aunque ninguna está aceptada en la actualidad de manera universal. El mayor problema de estas teorías es la enorme escala de energías que requieren las pruebas experimentales, que están fuera del alcance de los aceleradores actuales. Sin embargo, hay algunas predicciones que se han hecho para procesos de bajas energías que no requieren los aceleradores. Una de estas predicciones es que el protón es inestable y puede decaer. Por el momento, se desconoce si el protón decae, aunque los experimentos han determinado un límite inferior para su vida media de 1035 años. Por ello, por el momento, es incierto el que esta teoría sea una descripción adecuada de la materia.

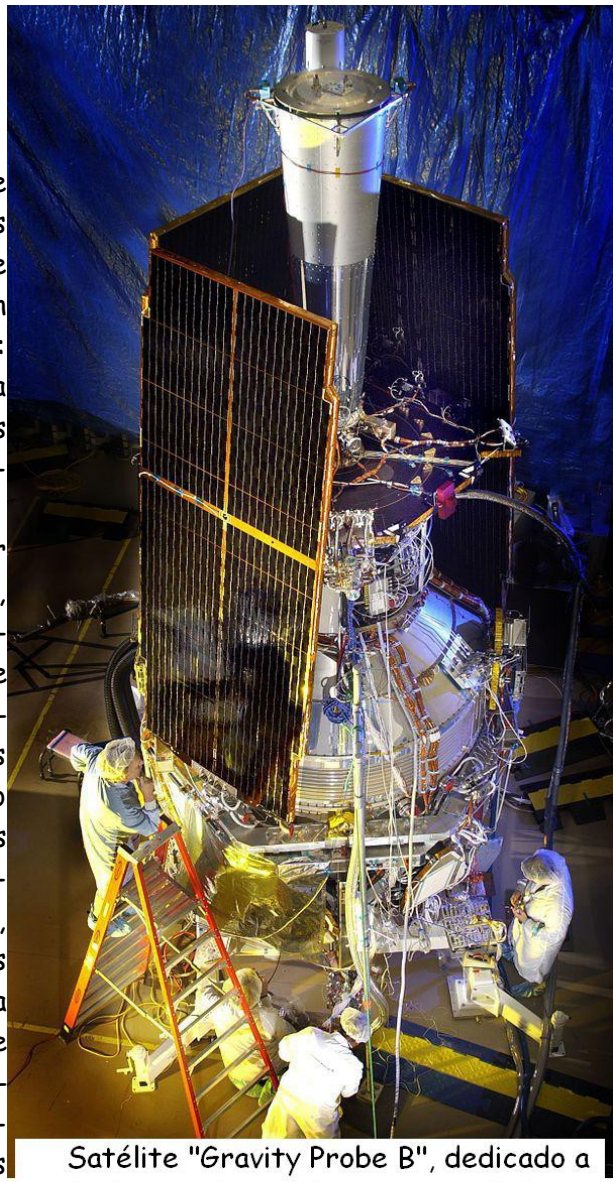
La GUT (gran unificación de teorías, que describiría en un mismo marco a las fuerzas electromagnética, débil y fuerte) está aún por resolverse cuando ya se habla de una "teoría del todo", es decir, una teoría única que abarque a las 4 fuerzas fundamentales. Si bien la GUT tiene visos de verosimilitud aunque al presente no se haya podido encauzar felizmente su corroboración experimental, no ocurre lo mismo con la "teoría

del todo", la cual no pasa de ser una propuesta puramente especulativa. Queda por saberse de qué manera la gravedad podría ser incluida en una "teoría del todo". Los físicos teóricos han sido incapaces hasta ahora de formular una teoría consistente que combine la relatividad general y la mecánica cuántica, aunque sí se ha podido aunar la relatividad especial (que prescinde de la gravedad en su planteamiento) con la mecánica cuántica actual en la llamada "mecánica cuántica relativista", desde donde ha surgido la "teoría cuántica de campos". Las dos teorías (mecánica cuántica relativista y relatividad general, que incluye a la gravedad) han mostrado ser incompatibles y la cuantización de la gravedad continúa siendo un serio problema en el campo de la física. En los años recientes, la búsqueda de una "teoría de campo unificada" se ha focalizado en las teoría de cuerdas (que son varias) y en la teoría M, que pretende unificarlas.

Gravedad cuántica.

La gravedad cuántica es el campo de la física teórica que procura unificar la teoría cuántica de campos, que describe tres de las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza (describe el electromagnetismo y las fuerzas nucleares débil y fuerte), con la relatividad general, la teoría de la cuarta fuerza fundamental: la gravedad. La meta es lograr establecer una base matemática unificada que describa el comportamiento de todas las fuerzas de la naturaleza, para así obtener una misma visión conocida como la "teoría del campo unificado".

Una teoría cuántica de la gravedad debería generalizar dos teorías de supuestos y formulación radicalmente diferentes, a saber: La "teoría cuántica de campos", que es una teoría no determinista (indeterminismo científico, un paradigma científico que considera que la complejidad del mundo y su impredictibilidad práctica hace que el mundo físico evolucione en el tiempo según rutas totalmente indeterminadas, siendo el azar un fenómeno derivado de ello) sobre campos de partículas (entendiendo las partículas como perturbaciones sobre el campo) asentados en el espacio-tiempo plano de la relatividad especial (métrica de Minkowski), que no es afectado en su geometría por el momento lineal de las partículas. La "teoría de la relatividad general" que es una teoría determinista (determinismo científico, un paradigma científico que considera que, a pesar de la complejidad del mundo y su impredictibilidad práctica, el universo físico evoluciona en el tiempo según principios o reglas totalmente predeterminadas y el azar es sólo un efecto aparente) que modela la gravedad como curvatura dentro de un espacio-tiempo que cambia con el movimiento de la materia y las densidades energéticas.



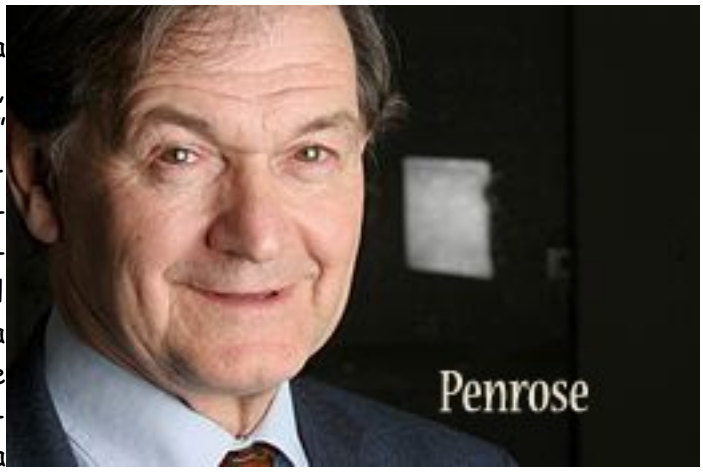
Satélite "Gravity Probe B", dedicado a medir la curvatura del campo gravitatorio terrestre según la teoría de la relatividad general de Einstein.

Las maneras más obvias de combinar la mecánica cuántica actual con la relatividad general pasan por tratar a la gravedad como otro campo de partículas más, pero ello conduce rápidamente a resultados infinitos divergentes, insostenibles para cualquier teoría física. En cuanto a los detalles formales, hay que señalar que las teorías cuánticas de campos exitosas, como la teoría electrodébil (que aúna la interacción electromagnética y la débil) y la cromodinámica cuántica (que describe la interacción fuerte), usan una estructura de grupo finito, pero el tratamiento del campo gravitatorio como campo cuántico requeriría un grupo infinito, algo im-

practicable para dotar de viabilidad a una teoría física.

Otra dificultad proviene del éxito de la mecánica cuántica por un lado y de la relatividad general por otro lado, pues ambas teorías han sido altamente eficaces y no hay fenómeno físico conocido que contradiga a las dos. Actualmente, por ende, el problema más profundo de la física teórica es tratar de armonizar la teoría de la relatividad general (RG), con la cual se describe la gravitación y se aplica a las estructuras en grande del universo (estrellas, planetas, galaxias), con la mecánica cuántica de segunda generación (MC2), que describe las otras tres fuerzas fundamentales y su actuación en escala cuántica o diminuta del universo.

El enfoque general actual que se ha tomado para intentar alcanzar una teoría de la gravedad cuántica es el denominado "principio de elegancia y simplicidad", que tan buenos resultados ha dado en física teórica. Dicho principio asume que la teoría subyacente (que englobaría tanto a la RG como a la MC2) debería ser simple y elegante, por lo que entonces habría que mirar las teorías actuales y buscar en ellas las simetrías y las indicaciones sobre cómo combinarlas elegantemente en una teoría abarcadora. Un problema con este enfoque epistemológico o metacientífico (de criteriología altamente subjetiva) es que no se puede saber a priori si la gravedad cuántica será realmente una teoría simple y elegante. Tal teoría, no obstante, se requiere perentoriamente para entender los problemas que implican la combinación de masas o de energías muy grandes y de dimensiones muy pequeñas del espacio, tales como el comportamiento de los infinitesimales agujeros negros y el origen microscópico del universo.



Roger Penrose ha propuesto algunos hechos que la teoría cuántica de gravitación podría (o debería) explicar, tales como: El problema del "colapso de la función de onda" cuántica, pues, como es sabido, la mecánica cuántica postula dos clases de evolución temporal; de un lado tenemos una evolución temporal suave, determinista (nota-7, página actual) y lineal (nota-9, página 51) dada por una ecuación del tipo "ecuación de Schrödinger" (cuando el sistema se deja evolucionar sin afectarlo mediante ninguna medida); y de otro lado tenemos una evolución abrupta, aleatoria y no lineal (nota-10, página 52) que ocurre cuando hacemos una medida de una magnitud física del sistema; pues bien, de acuerdo con Penrose, estos dos tipos de evolución podrían ser casos límites de un mismo tipo de evolución no lineal que en ciertas ocasiones se presenta como lineal o cuasi-lineal, quedando así explicada la ambigüedad de la teoría cuántica sobre cuándo realmente ocurre o no una medida. La "asimetría temporal" relacionada con la segunda ley de la termodinámica, que Penrose argumenta razonadamente se remonta a que la singularidad inicial del Big Bang fue de un tipo especial con tensor de curvatura de Weyl nulo; Penrose explica que todas las singularidades finales, como las de los agujeros negros, por el contrario, conllevan un tensor de Weyl que tiende a infinito. La naturaleza de la "conciencia humana", que Penrose opina que no es de naturaleza puramente algorítmica sino que incluiría elementos no computables; Penrose apunta que una teoría cuántica de la gravitación debería ser no lineal, y si bien podría ser realmente determinista sería claramente no computable, lo que explicaría que los fenómenos cuánticos de medición nos parecieran impredecibles tal como realmente observamos.

Notas.

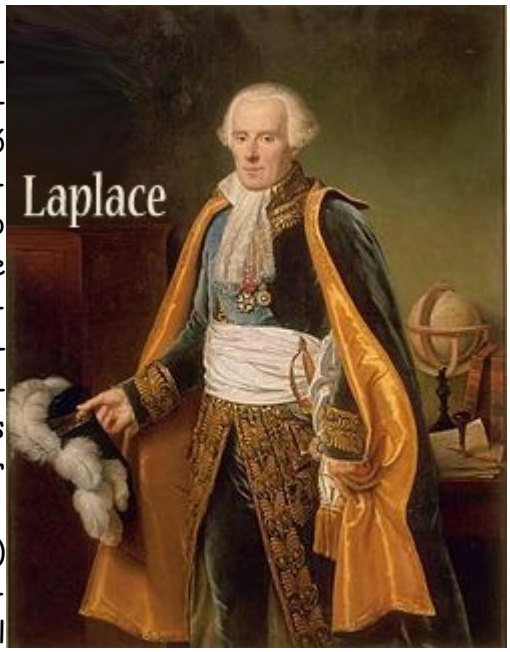
A continuación se proveen una serie de comentarios, o notas, cuya finalidad es esclarecer lo expresado en algunos pasajes del texto precedente.

Nota-7 (determinismo).

El "determinismo" es una doctrina filosófica que sostiene que todo acontecimiento físico, incluyendo el

pensamiento y las acciones humanas, están causalmente determinados por la irrompible cadena "causa→consecuencia", y, por tanto, el estado actual "determina" en algún sentido el futuro. Existen diferentes formulaciones de determinismo, que se diferencian en los detalles de sus afirmaciones. Para distinguir las diferentes formas de determinismo conviene clasificarlas acorde al grado de determinismo que postulan: El "determinismo fuerte" sostiene que no existen sucesos genuinamente aleatorios o azarosos, y en general el futuro es potencialmente predecible a partir del presente; el pasado también podría ser "predecible" si conocemos perfectamente una situación puntual de la cadena de causalidad. El "determinismo débil" sostiene que es la probabilidad lo que está determinado por los hechos presentes, o que existe una fuerte correlación entre el estado presente y los estados futuros, aun admitiendo la influencia de sucesos esencialmente aleatorios e impredecibles.

Cabe resaltar que existe una diferencia importante entre la determinación y la predictibilidad de los hechos. La "determinación" implica exclusivamente la ausencia de azar en la cadena causa→efecto que da lugar a un suceso concreto. La "predictibilidad" es un hecho potencial derivado de la determinación certera de los sucesos, pero exige que se conozcan las condiciones iniciales (o de cualquier punto) de la cadena de causalidad.



En Ciencias, el determinismo sobre las leyes físicas fue dominante durante siglos, siendo algunos de sus principales defensores Pierre-Simon Laplace (1745-1827) y Albert Einstein. Laplace, quien contribuyó enormemente al desarrollo de la física y la teoría de probabilidades, afirmó: "Podemos mirar el estado presente del universo como el efecto del pasado y la causa de su futuro. Se podría condensar un intelecto que en cualquier momento dado sabría todas las fuerzas que animan la naturaleza y las posiciones de los seres que la componen. Si este intelecto fuera lo suficientemente vasto para someter los datos al análisis, podría condensarse en una simple fórmula de movimiento de los grandes cuerpos del universo y del átomo más ligero; para tal intelecto nada podría ser incierto y el futuro, así como el pasado, estaría frente sus ojos".

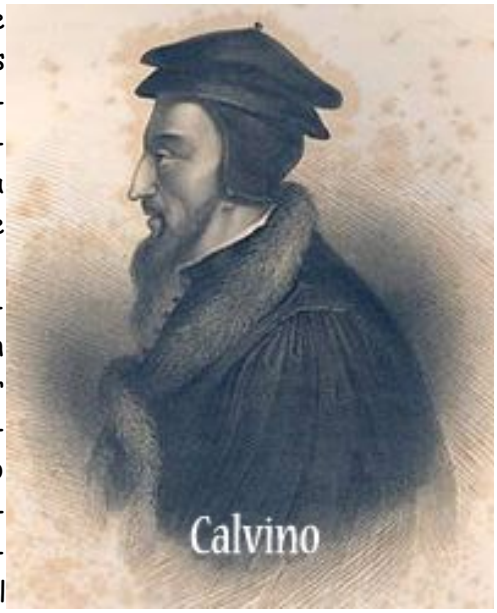
La mecánica clásica y la relatividad (tanto especial como general) son teorías que postulan leyes de evolución temporal, es decir, "ecuaciones de movimiento" de tipo deterministas. Ha habido autores como Karl Popper o Ilya Prigogine que han intentado rebatir este determinismo en la física clásica con base en argumentos tales como la existencia de sistemas con bifurcaciones, la flecha del tiempo, el caos, etc. Sin embargo, según López Corredoira, todo lo que están haciendo estos autores es básicamente confundir de manera inapropiada el determinismo con la predictibilidad. El determinismo es inseparable de la mecánica clásica y de la teoría de la relatividad, no así la predictibilidad, pues, a pesar del hecho determinista en el modo en que las mecánicas clásica y relativista tratan la evolución temporal de los sistemas físicos, en la práctica existen muchas dificultades para lograr un conocimiento completo del estado físico de un sistema clásico o relativista.

Muchos especialistas consideran a la mecánica cuántica como un evento azaroso y no determinista, al basarse en probabilidades y al parecer no estar regida por principios comunes a la mecánica tradicional. Pero, cuando se ve esto más de cerca, notamos que el fenómeno al que normalmente nos referimos como azar es meramente una cuestión de falta de conocimiento. Si conociéramos la ubicación, la velocidad y otras características (contempladas por la física clásica) de todas las partículas en el universo con certeza absoluta, seríamos teóricamente capaces de predecir casi todos los procesos en el mundo cotidiano. Podríamos incluso predecir los números ganadores de la lotería. Se utiliza la probabilidad porque para cualquier medición exacta se altera el resultado. Pero esto no implica que dentro de la mecánica cuántica esos procesos supuestamente "aleatorios" sean también producto de causas desconocidas (nota-8, página 50).

Varios generadores aleatorios (generadores cuánticos de cifras, por ejemplo) se basan en esta supuesta "impredictibilidad" para crear "azar puro". Pero de hecho lo que sucede es que desconocemos los factores, y si podemos alterarlos o no. Y con ello creamos una ilusión de algo aleatorio, tal como cuando tiramos un par de dados o jugamos a la ruleta.

El determinismo fuerte en las ciencias naturales en general es sinónimo de "determinismo cosmológico", pues afirma que el universo se rige por unas leyes físicas inquebrantables (incluso nosotros); por tanto, todo lo que acontece sucede así porque nunca podría haber sucedido de otra manera.

El determinismo filosófico, aunado al determinismo científico protagonizado por la física clásica, debió ejercer una notable influencia en el pensamiento teológico protestante medieval y renacentista, de tal manera que con la entrada de la edad moderna la postura del determinismo teológico habría cristalizado en una doctrina religiosa que se podría resumir así: si Dios lo sabe todo será porque él mismo ha determinado todas las cosas según su criterio, por lo que Dios es la causa de las acciones humanas. Este criterio fue el que mantuvo el calvinismo (y aún mantiene) al afirmar que el ser humano carece de libre albedrío y está "predestinado". En contraste, otras corrientes del protestantismo en general llegaron a oponerse a este radical determinismo religioso diciendo que si Dios es omnipotente también puede hacer al ser humano libre, aunque Dios mismo sepa de antemano lo que va a suceder; es decir, Dios y el hombre serían conjuntamente los autores de los actos humanos.



La "predestinación" es una doctrina religiosa bajo la cual se discute la relación entre el principio de las cosas y el destino de las cosas. En particular, la "predestinación" concierne a la decisión de Dios para crear y gobernar la creación y la evolución y el punto hasta el cual sus decisiones determinan lo que será del destino de grupos e individuos. El término procede del latín "praedestinatio", y en la teología pseudocristiana se aplica a la idea de que Dios conoce desde la eternidad el destino del universo y de cada persona. Agustín, en la Iglesia católica, y Calvino, en el protestantismo, son autores especialmente vinculados a esta doctrina, aunque entre ellos se dan diferencias notables.

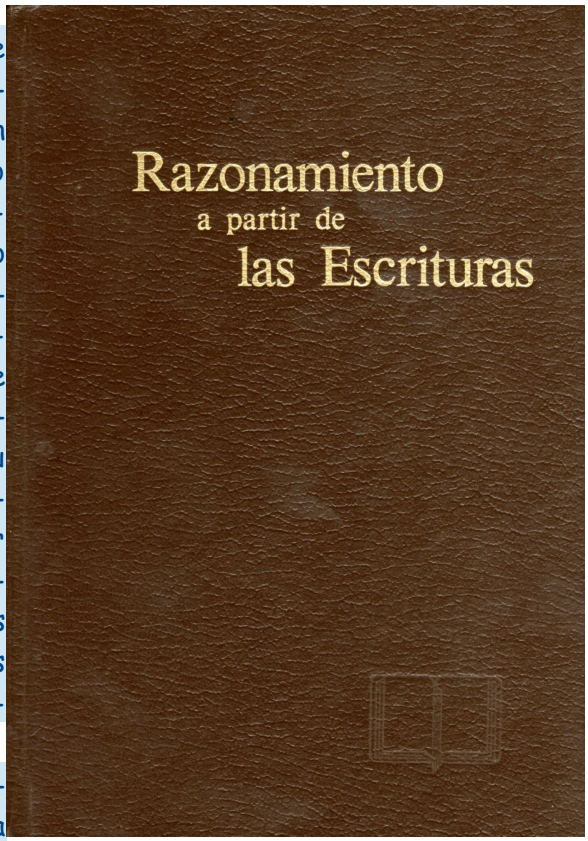
Juan Calvino (1509–1564), creía en la predestinación, es decir, en que desde el principio de la Creación Dios ya había predeterminado quién se salvaría y quién se condenaría. Aunque pudiera parecer que una doctrina en la que independientemente de lo que uno haga Dios ya ha predeterminado si éste se salvará o no carece del mejor estímulo para alentar un comportamiento moral entusiasta, en la práctica no tuvo curiosamente una influencia tan negativa, según opinan algunos autores. La explicación de este extraño comportamiento religioso paradójico la ha provisto Dietrich Schwanitz en su publicación "La Cultura. Todo lo que hay que saber" (Editorial Taurus, 2002): "puesto que obrar y vivir en el temor de Dios se interpreta como síntoma de que se es uno de los pocos elegidos, todos desean descubrir en sí mismos los signos de la gracia divina y obran convenientemente. La doctrina de Calvino era una especie de profecía que se cumplía a sí misma".

La discusión de la predestinación implica generalmente la consideración de si Dios es omnisciente, eterno o atemporal (fuera del flujo del tiempo en nuestro universo). En términos de estas ideas, Dios puede ver el pasado, el presente y el futuro, para que Dios sepa efectivamente el futuro. Si Dios en algún sentido sabe tempranamente lo que sucederá, entonces los acontecimientos en el universo se predeterminan efectivamente desde el punto de vista de Dios. Esto en sí mismo no es predestinación (aunque implique el determinismo). La predestinación acarrea la idea de que Dios ha determinado el avance de lo que será el destino de las criaturas, y no que esté simplemente enterado de ello.

El Islam tiene tradicionalmente fuertes puntos de vista acerca de la predestinación semejante a algu-

nos que se encuentran en la cristiandad. En el Islam, el Todopoderoso sabe y ordena cualquier cosa que pasa. Los musulmanes creen que Dios es literalmente atemporal, eterno y omnisciente al mismo tiempo.

El libro "Razonamiento a partir de las Escrituras", editado en inglés, español y otros muchos idiomas por la Sociedad Watchtower Bible And Tract en 1989, páginas 103 a 110, hace algunos comentarios interesantes acerca de la doctrina de la predestinación en el apartado titulado "Destino (Hado)", en donde recoge el aspecto más negativo de dicha doctrina: El fatalismo o creencia de que todos los sucesos están determinados por la voluntad divina o por alguna fuerza superior al hombre, y que todo suceso tiene que tener lugar como lo hace porque ha sido predeterminado. Implícitamente, el libro señala hacia la idea de que la susodicha doctrina tiene múltiples antecedentes históricos, de tal manera que no comienza con Calvino. Sin embargo, no es una enseñanza que tenga apoyadura genuina en la Biblia. De manera sucinta, las páginas citadas del libro argumentan así:



«¿Ha sido predeterminado para toda persona un "tiempo de morir"?... Esta creencia era popular entre los griegos y los romanos. Según la mitología pagana de ellos, las Parcas o Suertes eran tres diosas que hilaban el hilo de la vida, determinaban cuán largo sería, y lo cortaban... Si el momento de la muerte y el modo de morir de cada persona estuviera ya fijo al tiempo de su nacimiento o antes, no habría necesidad de que uno evitara las situaciones peligrosas ni cuidara de su salud, y las precauciones para evitar accidentes no alterarían las tasas de mortalidad. Pero ¿cree usted que un campo de batalla durante una guerra es un lugar tan seguro como el hogar de uno lejos de la zona de batalla? ¿Cuida usted de su salud o lleva a sus hijos al médico? ¿Por qué sucede que, como promedio, los fumadores mueren a una edad tres o cuatro años menor que la que alcanzan los que no fuman? ¿Por qué hay menos accidentes mortales cuando los que viajan en automóviles usan cinturones de seguridad y cuando los conductores de vehículos obedecen las leyes del tráfico? Es obvio que el tomar precauciones es provechoso.

¿Es "la voluntad de Dios" todo cuanto sucede?... La Biblia dice: "Jehová (Dios) es paciente para con vosotros porque no desea que ninguno sea destruido, sino desea que todos alcancen el arrepentimiento" (2 Pedro 3: 9). Pero no toda persona responde debidamente a la paciencia de Dios. Ciertamente no es "la voluntad de Dios" lo que tiene lugar cuando algunos no se arrepienten.

También la Biblia dice: "El tiempo y el suceso imprevisto les acaecen a todos" (Eclesiastés 9: 11). Así, una persona puede llegar a ser víctima de circunstancias desafortunadas y no debido a que su vida haya sido predeterminada o prevista... Por otra parte, ¿hay fuerzas sobrehumanas que también causen ayes a la humanidad?... "Ay de la tierra y del mar, porque el Diablo ha descendido a vosotros, teniendo gran cólera, sabiendo que tiene un corto período de tiempo" (Apocalipsis o Revelación 12: 12).

¿Dios conoce y determina todo de antemano?... "Yo soy el Divino y no hay otro Dios, ni nadie semejante a mí; Aquél que declara desde el principio el final, y desde hace mucho las cosas que no se han hecho; Aquél que dice: 'Mi propio consejo subsistirá, y todo lo que es mi deleite haré'" (Isaías 46: 9,10). Dios da a conocer su propósito, determina de antemano ciertos asuntos (no todos) con relación a llevar a cabo lo que se propone y tiene el poder sin límite que se necesita para asegurar el cumplimiento de las cosas predeterminadas a este respecto.

"Los traeré [a la nación de Israel] al suelo acerca del cual he jurado a sus antepasados, que mana leche

y miel, y ciertamente comerán y quedarán satisfechos y engordarán y se volverán a otros dioses, y verdaderamente les servirán y me tratarán con falta de respeto y quebrantarán mi pacto. Y tiene que suceder que cuando vengan muchas calamidades y angustias sobre ellos, entonces este cántico [que relata en detalle cómo actuaron por no haber apreciado el favor de Dios] tendrá que responder delante de ellos como testigo,... porque bien conozco su inclinación que van desarrollando hoy antes de introducirlos en la tierra acerca de la cual he jurado" (Deuteronomio 31: 20,21). Nótese que el que Dios pudiera discernir el resultado del proceder de ellos no significaba que él fuera responsable por tal curso, ni que el tal fuera lo que él deseaba para ellos, sino que, sobre la base de lo que ellos estaban haciendo él podía ver de antemano el resultado. De modo similar, un pronosticador de las condiciones del tiempo puede predecirlas con mucha exactitud al basarse en lo que observa, pero estas situaciones no son causadas por él ni necesariamente le gustan.

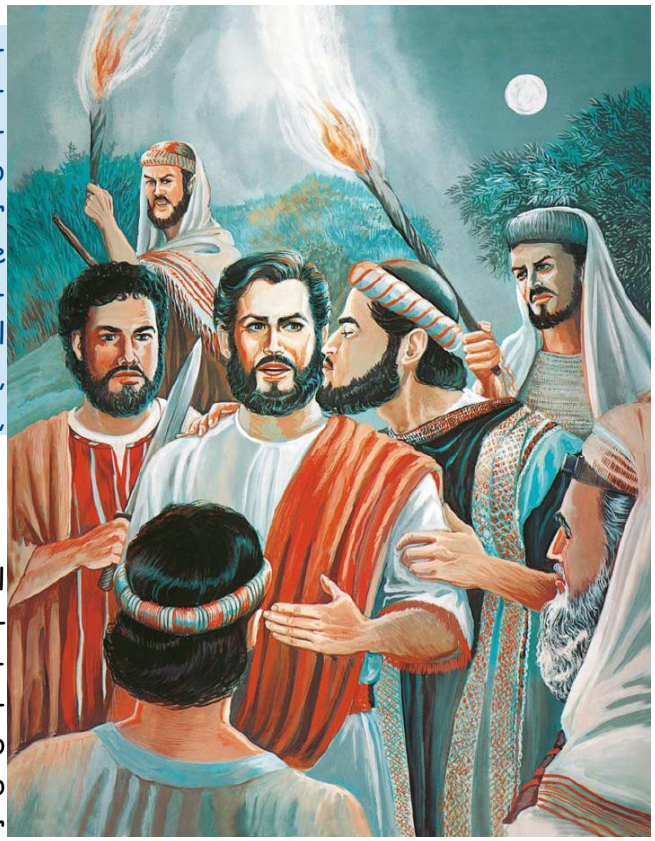
El que Dios pueda conocer y determinar de antemano ciertos acontecimientos, ¿prueba que él haga esto en cuanto a todas las acciones de todas sus criaturas exhaustivamente?... "Buscad a Jehová [Dios], todos vosotros los mansos de la tierra... Buscad justicia, buscad mansedumbre. Probablemente seáis ocultados en el día de la cólera [justa] de Jehová" (Sofonías 2: 3). ¿Habría de estimular un Dios justo y amoroso a la gente a hacer lo correcto, con esperanza de recibir una recompensa, si él supiera que estaba predeterminado que algunas personas no tendrían éxito?

Ilustración: El dueño de un radiorreceptor puede escuchar las noticias del mundo. Pero el hecho de que él pueda escuchar lo que se transmite por cierta estación no significa que él cause nada. Primero él tiene que poner a funcionar el aparato y entonces seleccionar la estación. De igual manera, Jehová puede conocer de antemano los sucesos, pero la Biblia muestra que él usa selectiva y discrecionalmente tal aptitud, dando la debida consideración al libre albedrío con que ha dotado a su creación humana.

Cuando Dios creó a Adán, ¿sabía que Adán pecaría? Esto fue lo que Dios dijo a Adán y Eva: "Sed fructíferos y haceos muchos y llenad la tierra y sojuzgadla, y tened en sujeción los peces del mar y las criaturas voladoras de los cielos y toda criatura viviente que se mueve sobre la tierra". Y también le impuso este mandato al hombre: "De todo árbol del jardín puedes comer hasta quedar satisfecho. Pero en cuanto al árbol del conocimiento de lo bueno y lo malo no debes comer de él, porque en el día que comas de él positivamente morirás" (Génesis 1: 28; 2: 16,17). ¿Estimularía usted a sus hijos a emprender un proyecto que ofreciera un futuro maravilloso, aunque desde el principio supiera que tal proyecto estaría condenado al fracaso? ¿Les advertiría de algún daño que les pudiera ocurrir, sabiendo usted ya estaba planeado que de seguro experimentarían desconsuelo? Entonces, ¿sería razonable atribuir tal proceder inmisericorde a Dios?... "Si vosotros, aunque sois inicuos (en comparación con Dios), sabéis dar buenos dones a vuestros hijos, ¿con cuánta más razón dará vuestro Padre que está en los cielos cosas buenas a los que le piden?" (Mateo 7: 11).

Si Dios hubiera conocido y determinado de antemano el pecado de Adán y todo lo que resultaría de ello, eso significaría que Dios, al crear a Adán, habría puesto en movimiento deliberadamente toda la iniquidad que se ha cometido en la historia humana. Él sería la Fuente de todas las guerras, el delito, la inmoralidad, la opresión, las mentiras, la hipocresía y las enfermedades. Pero la Biblia dice claramente: "Tú no eres un Dios que se deleite en la iniquidad" (Salmo 5: 4). "Dios es amor" (1 Juan 4: 8).

¿Fue predestinado Judas Iscariote a traicionar a Jesucristo?... "El hombre que estaba en paz conmigo,



en quien yo confiaba, que estaba comiendo mi pan, ha engrandecido contra mí su talón" (Salmo 41: 9). Esta profecía mesiánica no especifica cuál de los que estaban en estrecha asociación con Jesús sería ése. Jehová Dios sabía que el Diablo había usado a Ahitofel, el consejero de David, para traicionar a este antepasado de Jesucristo, y Dios hizo que aquello se pusiera por escrito porque demostraba cómo el Diablo trabajaba y lo que haría en el futuro. Así que no fue Dios, sino el Diablo, quien había metido en el corazón de Judas Iscariote, hijo de Simón, que traicionara a Jesús. Y en vez de resistir, Judas cedió a aquella influencia satánica».

Nota-8 (indeterminismo).

El "indeterminismo" es la actitud filosófica contraria al "determinismo", es decir, la que sostiene que los acontecimientos no dependen de un proceso causal "lineal" (esto es, por inferencia o hilo conductor simbólico que va desde la causa al efecto, a saber, por necesidad causal), sino de un proceso "no lineal" (esto es, sin relación inferencial de causa a efecto, o por azar; y por azar no significa sin causas, sino más bien por un sistema de causas inferencialmente incoordinables o no coordinadas, a saber, no lineales). Así, pues, en oposición al determinismo (procesos necesitados de causas lineales), el indeterminismo niega la fuerza de la necesidad "absoluta" de todos procesos físicos y biológicos.

Ya que el determinismo, que es siempre absoluto y global, niega libertad en las acciones humanas, el indeterminismo se extiende hacia el concepto antropológico de "libre albedrío". En el indeterminismo las nociones de sistema, proceso y evento juegan un rol fundamental porque el azar es el resultado de una serie de causas no lineales (que no están relacionadas entre sí). Por ello, la defensa filosófica de la libertad suele conllevar una defensa del indeterminismo, en el sentido de que nuestras acciones y decisiones no están determinadas, sino condicionadas.

El "indeterminismo ontológico" (ontología: rama de la metafísica que estudia todo lo que hay. Intenta responder preguntas generales como: ¿Qué es la materia? ¿Qué es un proceso? ¿Qué es el espacio-tiempo? ¿Hay propiedades emergentes? ¿Se ajustan todos los eventos a algunas leyes cognoscibles? ¿Qué hace real a un objeto? ¿Hay causas finales? ¿Es real el azar? ¿Existe Dios? ¿Existen entidades mentales, como ideas y pensamientos? ¿Existen entidades abstractas, como los números?) admite la existencia del azar como un factor de complejidad extrema de la materia. Por lo tanto, frente al determinismo, que insiste en una vinculación rígida entre causas y efectos de tipo inexorable, el indeterminismo ve también el azar como causa.

La creencia en el dominio absoluto de la inexorabilidad causa→efecto teorizado por el determinismo es contradicha por el indeterminismo, admitiendo al mismo tiempo el azar. Sin duda, el Principio de indeterminación de Werner Heisenberg demostró cierto indeterminismo (al menos aparente) en el mundo subatómico. El físico de partículas elementales, y descubridor de los quarks, Murray Gell-Mann, Premio Nobel en 1969, escribió: "Si no somos capaces de hacer predicciones sobre el comportamiento de un núcleo atómico, imagínese cuánto más es el comportamiento fundamentalmente impredecible en todo el universo... Más allá de estos simples principios presumiblemente, cualquier historia alternativa del universo depende de los resultados de un número inimaginablemente grande de accidentes".

Desde el punto de vista de la sagrada escritura, sólo Dios puede conocer y predecir el futuro con un grado creciente de aproximación (desde rasgos difusos a rasgos nítidos, con tanta nitidez como se desee). Al

parecer, el Todopoderoso puede ejercer un trabajo de investigación que sólo Él domina, mediante el cual se aproxima a un conocimiento de cierta región más o menos amplia de la realidad universal futura y entonces puede extraer un cuadro más o menos difuso de ella (en la Biblia encontramos profecías que se exponen sólo a grandes "pinceladas", mientras que otras se presentan con "pinceladas" muy finas y precisas). Habitualmente, las profecías bíblicas suelen estar vinculadas entre sí por una misma línea de motivación divina: conocer el desenvolvimiento futuro de Su propósito y no la "vida privada" de ésta u otra criatura.

Desde este prisma, pues, no existe indeterminismo para Dios; de otro modo, el Ser Supremo sería incapaz de conocer el futuro con aproximación creciente y sin límites. En todo caso, más bien, el indeterminismo es válido para cualquier otro viviente que no sea el Todopoderoso. Y es posible que la razón de ello estribe en la manera en que la realidad parece estar estructurada, a saber: por capas o niveles de organización. La teoría matemática de números, o mejor el análisis numérico, permite detectar que es factible prolongar la penetración hacia el micromundo indefinidamente. La organización de los sillares de un determinado estrato de la realidad puede estar soportada por los sillares pertenecientes a un nivel inferior, prolongándose de manera infinita la cantidad de niveles posibles. Esto se contempla en la llamada "hipótesis del continuo", la cual postula un submundo matemático en donde los elementos distintivos o sillares básicos son los llamados "números reales", que aparentemente han tocado fondo en cuanto a densidad. Pero tal submundo es inasequible al ser humano o a cualquier criatura sobrehumana por excelsa que sea, puesto que requiere una incursión que recurre al infinito complejo (infinita cantidad de etapas o pasos, para infinitos órdenes de infinitud, según la teoría de Cantor), con la excepción, por supuesto, del Creador de la realidad. Esto significa que habría que ahondar en el micromundo de la realidad hasta alcanzar niveles de infinita infinitud de profundidad, en donde los sillares últimos radicarían o reposarían; y tal vez ahí, no sin esfuerzo calculatriz por parte del Todopoderoso, se despliegue un panorama determinista desde donde emergen todos los demás niveles superiores, con valores de indeterminismo creciente de abajo hacia arriba (ya que se soportan sobre él), y al que sólo el Ser Supremo podría acceder.

Nota-9 (linealidad).

Hay un trasfondo fundamentalmente matemático para el concepto físico de "linealidad" y es el que tiene que ver con los denominados "sistemas lineales", a la base de los cuales se encuentra la noción de "función lineal". En matemáticas, una función lineal es aquélla que satisface las siguientes propiedades:

1. Aditividad: $f(x + y) = f(x) + f(y)$
2. Homogeneidad: $f(k \cdot x) = k \cdot f(x)$

Estas dos propiedades, tomadas en conjunto, se conocen como "Principio de Superposición". Si se cumple, entonces el sistema que goza de ellas es lineal y permite a los investigadores hacer ciertas suposiciones matemáticas y aproximaciones, permitiendo un cálculo más sencillo de los resultados. En general, los sistemas lineales representan entidades complejas cuyo comportamiento es expresable como la suma de los comportamientos de sus descriptores.

Para poder resolver cualquier ecuación se necesita decidir en qué espacio matemático se encuentra la solución. Podría ser que dicha solución fuera un número real, un vector o, tal vez, una función con algunas pro-

piedades. Las soluciones de ecuaciones lineales pueden ser generalmente descritas como una superposición de otras soluciones de la misma ecuación. Esto hace que las ecuaciones lineales sean relativamente fáciles de resolver.

Nota-10 (antilinealidad).

En matemáticas, los sistemas no lineales (antilineales) representan entidades cuyo comportamiento no es expresable como la suma de los comportamientos de sus descriptores. Más formalmente, un sistema físico, matemático o de otro tipo es no lineal cuando las ecuaciones de movimiento, evolución o comportamiento que regulan su evolución son no lineales. En particular, el comportamiento de sistemas no lineales no está sujeto al principio de superposición (ver Nota-9, página anterior), como lo está el de un sistema lineal.

Ya que los sistemas no lineales no son iguales a la suma de sus partes, usualmente son difíciles (o imposibles) de modelar, y sus comportamientos con respecto a una variable dada (por ejemplo, el tiempo) es extremadamente difícil o imposible de predecir. Algunos sistemas no lineales tienen soluciones exactas o integrables, mientras que otros tienen comportamiento caótico y por lo tanto no se pueden reducir a una forma simple ni se pueden resolver. Un ejemplo de comportamiento caótico son las olas gigantes.

Aunque algunos sistemas no lineales han sido extensamente estudiados, la vasta mayoría son pobremente comprendidos. Pero las ecuaciones no lineales son de interés en física y matemáticas debido a que la mayoría de los problemas físicos son implícitamente no lineales en su naturaleza. Ejemplos físicos de sistemas lineales son relativamente raros.

Las ecuaciones no lineales son difíciles de resolver y dan origen a interesantes fenómenos como la "teoría del caos". Una ecuación lineal puede ser descrita usando un operador lineal, L, y en algún valor desconocido de x tiene la forma $Lx = 0$. Una ecuación no lineal es de la forma $F(x) = 0$ para algún valor desconocido de x.

Las ecuaciones no lineales son muy complejas, y dificilísimas de entender, por la falta de soluciones simples superpuestas. Sin embargo, hoy día existen muchas herramientas para analizar ecuaciones no lineales, y, por mencionar algunas, tenemos: la dinámica de sistemas, el teorema de la función implícita y la teoría de la bifurcación. Ejemplos de ecuaciones no lineales se dan en la relatividad general, en dinámica de fluidos, en el sistema climatológico terrestre, etc.

Teoría del todo.

La "teoría del todo" (ToE, por sus siglas en inglés) es una hipótesis de la física teórica que pretende explicar y conectar en una sola fórmula todos los fenómenos físicos conocidos. Inicialmente, el término fue usado con una connotación irónica, para referir a varias teorías sobregeneralizadoras. Después el término se popularizó en la física cuántica, al describir una teoría que podría unificar o explicar a través de un modelo sim-

ple todas las interacciones fundamentales de la naturaleza. Otros términos, no del todo sinónimos, empleados para referirse al mismo concepto son "teoría unificada", "gran teoría unificada", "teoría de campos unificada" y "teoría del campo unificado".

El concepto de una "teoría del todo" está arraigado en el principio de causalidad y su hipotético descubrimiento es la empresa más ambiciosa de la física actual. Aunque dicho descubrimiento puede ser referido como determinista, en una "simple fórmula total" puede todavía existir alguna clase de indeterminismo si la física es fundamentalmente probabilista, como proponen algunas posturas actuales de la mecánica cuántica. Esto se debe a que, aun si los mecanismos que gobiernan las partículas son intrínsecamente azarosos, conocer las reglas que gobiernan dicho azar y calcular las probabilidades de ocurrencia para cada evento posible podría considerarse como un híbrido determinista-indeterminista. Sin embargo, hay interpretaciones de la ecuación aparentemente indeterminista de Schrödinger que conceden poca importancia al azar: éste sólo tendría importancia dentro del átomo y se diluiría en el mundo macroscópico; otras posturas niegan completamente toda interpretación indeterminista de las leyes cuánticas. En consecuencia, la mayor dificultad para descubrir una teoría unificada ha sido la de armonizar correctamente leyes que gobiernan sólo un reducido ámbito de la naturaleza y transformarlas en una única teoría que explique la totalidad, tanto del micromundo como del mundo macroscópico y además explique el porqué de la existencia de las cuatro interacciones fundamentales: las fuerzas gravitatoria, electromagnética, nuclear fuerte y nuclear débil.

Ha habido numerosas teorías del todo propuestas por físicos teóricos en el siglo pasado, pero hasta ahora ninguna ha sido capaz de superar la prueba experimental. El primer problema en producir una teoría del todo es que las teorías fundamentalmente aceptadas, como la mecánica cuántica y la relatividad general, son radicalmente diferentes en las descripciones que hacen del universo: las formas sencillas y elegantes de combinarlas conducen rápidamente a la denominada "renormalización" del problema, donde la teoría no ofrece resultados finitos (sino infinitos) para datos cuantitativos experimentales.

Desde los tiempos de los antiguos griegos, los filósofos han especulado acerca de que tras la aparente diversidad de fachadas de la realidad se oculta una subyacente unidad, y por lo tanto la lista de las fuerzas que se despliegan a nuestro alrededor puede ser acortada hasta el grado de que incluso llegue a contener una sola expresión. Por ejemplo, la filosofía mecánica del siglo XVII propuso que todas las fuerzas podrían reducirse a una única fuerza de contacto entre pequeñas partículas sólidas. Este esquema se abandonó después de la aceptación general de la existencia de fuerzas gravitacionales que actuaban a larga distancia, propuestas por Isaac Newton; pero, al mismo tiempo, el trabajo de Newton, en sus "Principia", proveían la primera evidencia dramática de unificación de fuerzas que en aquel momento pertenecían a parcelas diferentes: el trabajo de Galileo sobre la gravitación terrestre, las leyes de Kepler del movimiento planetario y los fenómenos de las mareas. Todas ellas, sin embargo, fueron cuantitativamente explicadas mediante una simple ley llamada "La gravitación universal".

En 1820, Hans Christian Oersted descubrió una conexión entre la electricidad y el magnetismo; muchas décadas de trabajo culminaron en la teoría del electromagnetismo de James Clerk Maxwell. También, durante los siglos XIX y XX, gradualmente fueron apareciendo muchos ejemplos de fuerzas de contacto, elasticidad, viscosidad, fricción y presión que podían aunarse como resultado de las interacciones eléctricas entre pequeñísimas partículas de materia. A finales de 1920, la incursión de mecánica cuántica mostró que los enlaces químicos entre átomos eran ejemplos de fuerzas eléctricas cuánticas, corroborando la jactancia de Dirac que "las leyes físicas subyacentes necesarias para elaborar una teoría matemática útil para una gran

parte de la física y para toda la química ya son completamente conocidas". Se trataba, pues, de asociar dichas fuerzas fundamentales en un solo modelo totalizador que explicara de forma efectiva interacciones complejas de fuerzas aparentemente diversas y no correlacionadas.

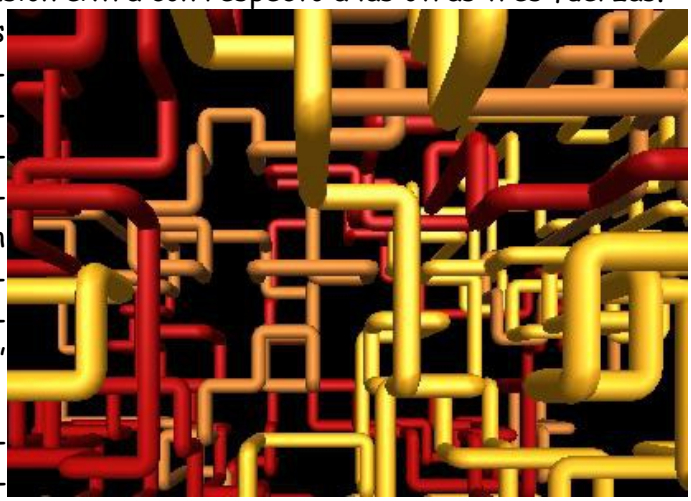
Los intentos de unificar gravedad con magnetismo se remontan a los experimentos de 1849-1850 de Michael Faraday. Después de la teoría gravitatoria (relatividad general) de Einstein publicada en 1915, la búsqueda de una teoría del campo unificado que combine gravedad con electromagnetismo se tornó más seria. Al mismo tiempo, se hizo plausible el decir que no existían más fuerzas fundamentales. Prominentes contribuciones fueron dadas por Gunnar Nordstrom, Hermann Weyl, Arthur Eddington, Theodor Kaluza y Oskar Klein, pero la más notable fue dada por Einstein y sus colaboradores. No obstante, ninguna de estas propuestas tuvo éxito.

La búsqueda fue detenida por el descubrimiento de las fuerzas nucleares débil y fuerte, que no podían ser anexadas dentro de la gravedad o el electromagnetismo. Otro obstáculo fue la incursión de la mecánica cuántica, que tuvo que ser aceptada desde el inicio y no emergió como consecuencia de la teoría unificada determinista, como Einstein esperaba. Gravedad y Electromagnetismo pudieron coexistir pacíficamente al principio como tipos de fuerzas incorporadas en la física de Newton, pero los años han mostrado que la gravedad no puede ser incorporada en el panorama cuántico, aunque sí el electromagnetismo. Esto deja sola a la gravedad, al no poder unificarse con las otras fuerzas fundamentales. Por esta razón, el trabajo de unificación en el siglo XX se focalizó en entender las tres fuerzas "cuánticas": el electromagnetismo y las fuerzas nucleares débil y fuerte. Las dos primeras fueron unificadas en 1967-1968 por Sheldon Glashow, Steven Weinberg, y Abdus Salam. Por su parte, las fuerzas fuerte y la electrodébil coexisten en el modelo estándar de partículas, pero se mantienen distintas. Muchas teorías unificadoras han sido propuestas para unificarlas, aunque por su simpleza han sido descartadas experimentalmente; pero la idea general, especialmente cuando se vinculan con las llamadas "supersimetrías", es que por esa vía se alcanzarán buenos resultados, y ésa es la forma de pensar que actualmente prepondera en la comunidad teórica de física.

Se espera que la Teoría del Todo unifique todas las interacciones fundamentales de la naturaleza, que son consideradas como cuatro: gravitación, fuerza nuclear fuerte, fuerza nuclear débil y electromagnetismo. Podría ser prematuro el estar buscando la teoría del todo cuando todavía no existe evidencia directa de una posible unificación electronuclear, y mientras que a la vez hay muchas diferentes propuestas de GUTs (Grandes unificaciones teóricas). No obstante, muchos físicos creen que la unificación es posible, debido en parte a la historia de convergencia hacia una misma teoría. La supersimetría se ve plausible no sólo por su "belleza" teórica, sino también por su naturalidad al producir grandes cantidades de materia oscura como reclama la cosmología. Puede que las GUTs no sean claramente la respuesta final. Tanto el modelo estándar actual como la propuesta de GUTs son teorías cuánticas de campos que requieren la problemática técnica de la renormalización. Es usual considerar como un signo de que hay una sola teoría de campos el hecho de que se puedan omitir fenómenos cruciales sólo a muy altas energías. Además, la inconsistencia entre la mecánica cuántica y la relatividad general implica que una de las dos debe ser remplazada por una teoría que incorpore la gravedad cuántica.

La única candidata principal a una teoría del todo, en el momento presente, es la "teoría de supercuerdas". Investigaciones en curso sobre la gravedad cuántica de bucles puede eventualmente jugar un rol fun-

damental en una teoría del todo, aunque éste no es el principal objetivo: estas teorías intentan lidiar con la renormalización mediante el establecimiento de algunas claves en el límite inferior de escalas de longitud posible. La teoría de supercuerdas y la supergravedad (se cree que ambas son casos especiales de una teoría M sin definir) suponen que el universo tiene en realidad más dimensiones que lo que puede detectarse a simple vista: tres espaciales y una temporal. La motivación tras este acercamiento comienza con la teoría de Kaluza-Klein, en donde se notó que al aplicar la relatividad general en un universo de 5 dimensiones (una dimensión más, de doblado) mantenía la equivalente a la relatividad general de 4 dimensiones, con las leyes de Maxwell del electromagnetismo también en 4 dimensiones. Esto ha dado lugar a esfuerzos para trabajar con teorías de muchas dimensiones, en las que se espera que se puedan producir ecuaciones que sean similares a las conocidas en física. La noción de extradimensiones también ayuda a resolver el problema de la jerarquía, donde la pregunta de porqué la gravedad es más débil que cualquier otra fuerza fundamental hallaría respuesta, y la tal respuesta señala a que la gravedad estaría en una dimensión extra con respecto a las otras tres fuerzas.



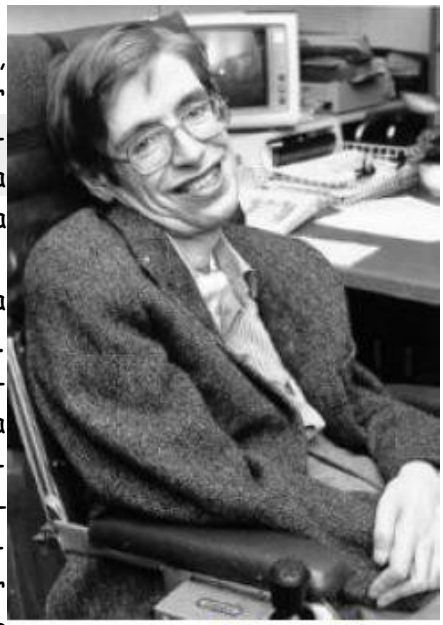
A finales de 1990 se notó que uno de los problemas de tener muchas candidatas a teorías del todo (pero particularmente con respecto a la teoría de cuerdas) era que éstas no contenían las características de predecir unívocamente el universo que habitamos. Por ejemplo, muchas teorías de la gravedad cuántica pueden crear universos con un número arbitrario de dimensiones o con arbitrarias constantes cosmológicas. Incluso la "estándar" teoría de cuerdas 10-dimensional permite a las dimensiones "espiraladas" ser compactadas en muchos diferentes caminos.

Una solución especulativa es que muchas de esas posibilidades son realizables en uno u otro de los universos posibles, pero sólo un número pequeño de ellos son habitables, y por lo tanto las constantes universales fundamentales en nuestro cosmos son en definitiva el resultado de un principio antrópico. Esta aproximación antrópica es duramente criticada en el seno del actual materialismo científico de alto nivel, aduciendo que como la teoría es tan flexible puede abarcar casi cualquier observación y consecuente no puede hacer predicciones útiles (falsas o verificables). Desde este punto de vista, la teoría de cuerdas corre el riesgo de ser considerada como pseudociencia, esto es, una teoría infalsable que es constantemente adaptada para que los resultados experimentales se ajusten a ella.

Recientemente han surgido dos teorías que podrían algún día evolucionar hasta la mencionada teoría unificada. Una es la Teoría M (sin definir todavía), una variante de la teoría de cuerdas basada en un espacio de 11 dimensiones. La segunda es la denominada "teoría cuántica de bucles", que postula que el propio espacio-tiempo estaría cuantizado dimensionalmente, algo que por ahora no ha sido demostrado.

El estatus de la física en la ToE (teoría del todo) está abierto a un debate filosófico. Considerando la hipótesis de que se halle definitivamente plausible, una teoría del todo física podría coincidir con una teoría filosófica del todo. De hecho, algunos filósofos (Platón, Aristóteles, Hegel, Whitehead) han intentado construir sistemas que lo abarcan todo. No obstante, un pequeño número de científicos actuales indica que el teorema de incompletitud de Gödel implica que cualquier intento de construir una teoría del todo está abocada al fracaso. El teorema de Gödel dice que cualquier teoría matemática suficientemente compleja es o bien inconsistente o bien incompleta. Stanley Jaki señaló, en su libro "La relevancia de la física" de 1966, que cualquier teoría del todo deberá ser una teoría matemática consistentemente no-trivial, con lo que debe ser incompleta. Jaki considera, por tanto, que este hecho arruina la expectativa de una genuina teoría determinista del todo. Freeman Dyson, por su parte, ha afirmado que: "El teorema de Gödel implica que la matemática pura no es exhaustiva. No importa cuántos problemas pueda resolver, siempre habrá otros problemas que no puedan

ser resueltos con las reglas existentes. Del teorema de Gödel, pues, se concluye que la física tampoco es exhaustiva. Las leyes de la física son configuraciones finitas de reglas e incluyen las reglas para hacer matemáticas, a fin de que el teorema de Gödel se aplique a ellos" (NYRB, 13-5-2004).


Stephen Hawking

Stephen Hawking fue originariamente proclive a una teoría del todo, pero después de considerar el teorema de Gödel concluyó que no podría ser obtenida: "Muchas personas estarán muy disgustadas si no hay una teoría última que pueda formular un número finito de principios. Yo solía pertenecer a ese campamento, pero he cambiado mi forma de pensar" ("Gödel y el fin de la física", Stephen Hawking, 20-7-2002).

Sin embargo, muchos científicos y matemáticos creen que el teorema de Gödel es completamente irrelevante cuando se discute la "teoría del todo". Opinan que el teorema de Gödel no impide que un matemático compute qué ocurre después de cualquier cantidad de tiempo, o no impide que una persona conozca las reglas para hacer los cálculos. Todo lo que el teorema de Gödel dice es que, incluso conociendo todas las reglas, sería imposible predecir qué nuevos patrones se producirán eventualmente con esas reglas. Para ilustrar, consideremos el "Juego de la Vida" de Conway; se trata de un autómata celular completo, donde una variación del argumento del teorema de Gödel mostraría simplemente que el comportamiento del autómata a lago plazo no podría ser predicho a partir de una configuración inicial arbitraria, y, por tanto, una criatura hipotética que viviera dentro del juego no podría conocer todas las derivaciones. Las reglas del autómata serían como la teoría del todo, y podría ser conocida incluso para las criaturas dentro del autómata.

Ninguna teoría física actual se cree que sea precisamente exacta. En lugar de ello, la física ha procedido a trabajar por medio de series de "aproximaciones sucesivas", permitiendo predicciones cada vez más exactas sobre una amplia gama de fenómenos. Muchos físicos creen que existen numerosos errores en los confusos modelos teóricos en comparación con la naturaleza de la realidad y sostienen que la serie de aproximaciones nunca culminarán en una "verdad" absoluta. El mismo Einstein expreso esta visión en ocasiones, pues desde su punto de vista podemos razonablemente esperar por "una" teoría del todo donde se incorporen todas las fuerzas conocidas actualmente, pero no deberíamos esperar conseguir la respuesta final. En cambio, estaba abierto a opinar que a pesar de la aparente complejidad matemática de cada teoría, en un sentido profundo y asociado con su subyacente simetría gaugiana y el número de constantes físicas universales, las teorías se podrán simplificar. Si eso ocurre, el proceso de simplificación no parece que pueda continuar indefinidamente.

Hay un debate filosófico dentro de la comunidad física acerca de la existencia o no de la teoría del todo y si ésta debería ser llamada la "ley fundamental del universo". Desde la posición reduccionista dura, la teoría del todo debe ser la ley fundamental y todas las otras teorías que se aplican en el universo serán una consecuencia de la ley del todo. Otra visión es que las leyes emergentes (llamadas "leyes libres flotantes" por Steven Weinberg), donde gobierna un comportamiento de sistemas complejos, deberían ser igualmente fundamentales. Un ejemplo lo provee la segunda ley de la termodinámica. La idea es que a través de nuestro universo esas leyes describen sistemas cuyo comportamiento puede hipotéticamente ser predicho por una ToE, la cual también será válida para describir fenómenos que se realicen en un universo restringido a diferentes leyes de bajo nivel, sujeto sólo a algunas condiciones muy especiales. Por lo tanto no es de ayuda, ni siquiera en principio, invocar un nivel bajo de leyes para discutir el comportamiento de los sistemas complejos. Tal vez por ello la Termodinámica debería mantenerse como disciplina en pleno vigor y no tratar de reducirla a un nivel teórico de complejidad menor, por temor a perder de vista (con la consecuente pérdida de información) el hecho de que la realidad se presenta a través de muchas y diferentes estructuras físicas con distintos gra-

dos de complejidad y que los fenómenos emergentes parecen romper irreconciliablemente la conexión o continuidad conceptual con los submundos que los soportan y también con los supermundos que ellos mismos eventualmente pudieran soportar.

Conclusión.

A la luz de las sagradas escrituras, se hace evidente que el universo material que nos alberga no es todo el cosmos global que pertenece a la realidad. Este universo en donde nosotros vivimos, o universo material, presenta ciertos rasgos sorprendentes, como los descritos por la relatividad general (RG) y la mecánica cuántica de segunda generación (MC2). Pero la Biblia deja entrever que hay un mundo mucho más extenso que el que se observa con la ayuda de los actuales recursos científicos y tecnológicos humanos, el cual englobaría lo que podemos llamar "región espiritual" o universo de las criaturas angélicas. Así que una "teoría del todo", referida al universo material que nos alberga, es del "todo" engañosa conceptualmente.

En efecto, si, como los científicos han venido creyendo, la ToE (teoría del todo) fuera alcanzable finalmente, lo único que se habría podido conseguir (para desdicha y frustración de los más ilusionados) es una teoría de "todo el universo material", esto es, una teoría que explicara un subconjunto cuasi infinitesimal de toda la realidad inundante, siendo dicho "subconjunto" nuestro universo material. Gracias al estudio profundo de las sagradas escrituras, pues, podemos comprender esto.

La realidad es algo que nos desborda infinitamente, tanto a nosotros como a las demás criaturas sobrehumanas que habitan la "región" espiritual. Las investigaciones hechas acerca de los niveles de organización de la materia parecen poder extrapolarse a una organización más profunda, que sirve de soporte a lo que en nuestra ignorancia llamamos "materia". El análisis numérico, por otra parte, nos permite entrever que no se puede agotar la escalera en descenso que nos lleva hacia sillares cada vez más diminutos que pudieran servir de soporte a niveles organizativos o capas más superiores de la realidad. La progresión hacia lo infinitesimal no tiene límites teóricos, lo cual significaría que dicha realidad desborda a cualquier criatura inteligente, por excelsa que sea, excepto al Creador.

Tal vez en el futuro no muy lejano seamos capaces de comprender un poco más exactamente la formidable magnitud que eleva al Todopoderoso por encima de cualquiera de sus criaturas inteligentes, ya a nivel individual o a nivel de colectividad. Quizás percibamos bien que la infinita distancia cognitiva entre el Altísimo y sus criaturas es de tal envergadura que hace que todo, aparte de Él, sea comparativamente "inexistente" o una "irrealidad": "Todas las naciones son como algo inexistente delante de Él (Jehová Dios, el Todopoderoso); como nada y como una irrealidad Le han sido estimadas" (Isaías 40: 17).