

## **El Cosmos y Nuestro Planeta.**

### **1. Los Comienzos.**

La especie humana comenzó lentamente su expansión desde el NW de África, hace unos 200 000 años. El comienzo de la escritura ocurre hace unos 7000 años como consecuencia del cultivo agrícola. El hombre primitivo pasó del Norte de África al Medio Oriente hace unos 65000 años y se dispersó por Europa y Asia. Aventuró hasta lejos de la costa de la parte occidental del Océano Pacífico. Cruzó el Estrecho Bering e incursionó el continente americano para terminar por poblar toda la superficie de la Tierra. La evolución del ADN transcurre en forma paralela y conectada a los cambios raciales producidos por cada medio ambiente que los humanos toman por residencia. De ahí que, tomando muestras de ADN, se ha logrado establecer la secuencia en tiempo y lugares con la cual nuestra especie terminó por poblar toda la superficie de la Tierra en un proceso que incluye la formación de las actuales razas humanas.

**1.1. Mitologías.** Desde los comienzos de esta historia, el hombre se preocupó por entender el Universo, su comienzo y su historia. Todos los pueblos tienen ancestrales mitos en los que Universo, Sol, Tierra, Luna, mar y cielo son creados junto a la especie humana. Para sobrepasar esta etapa mágica-mitológica de la cultura, es necesario que el hombre examine evidencias, elabore principios y encare la tarea de entender racionalmente el mundo. Casi todas las culturas tienen un mito sobre la creación que implica la formación simultánea del cielo y la tierra aunque el induísmo presenta un proceso cíclico. Por otro lado, el Génesis relata la creación de los cielos y la tierra por Dios. La religión griega inicia el universo con el Caos al que sucede Gea –la Tierra- que engendra a Urano , el firmamento estrellado.

**1.2. Los Inicios en Egipto y Caldea.** La civilización se inicia con la agricultura y los comienzos del intercambio comercial. Esto ocurre en Egipto y en la Mesopotamia. Tanto el comercio como la agricultura necesitaban la aritmética y otras técnicas numéricas, geométricas y, en general, matemáticas.

Los egipcios dividieron el año en 36 decanos de 10 días cada uno más 5 días “epagómenos” completando el año de 365 días. Además, reconocían 36 estrellas con posiciones regulares en el cielo y medían el tiempo en 12 unidades nocturnas y 12 diurnas.

Todo parte con el sistema numérico que constituye el alfabeto de las matemáticas. La numeración babilónica tiene base 60 de donde nace nuestra división del tiempo en 60 minutos y la circunsferencia en  $360^0$ . Provista de instrumentos para registrar el movimiento de los cuerpos celestes, distinguen planetas y estrellas. Esta

civilización predice las posiciones de los planetas, dividen el cielo en las partes del zodiaco y el año en 360 días con 12 meses de 30 días. Además, encontraron útil dividir el tiempo en semanas con 7 días a los cuales les dieron los nombres del Sol, la Luna y de los 5 planetas conocidos.

Si algo mide la cultura media de algún lugar en el tiempo es la reacción humana ante los cometas a pesar de que ya Séneca dijo: *“...porque nos sorprendería que los cometas, ... no estén sujetos a leyes bien determinadas ..... llegará el día en que la posteridad se asombrará de que hayamos ignorado cosas que entonces parecerán tan claras”* Incluso bastante después de la explicación de la existencia de cometas, ellos han producido pánico en la población con miles de suicidios con Halley en 1910 y, en 1997, produjo un suicidio colectivo de seguidores de la secta Puerta del Cielo que abordarían una nave que venía junto al cometa.

## 2. Cosmología y Geografía en la Civilización Antigua Griega

**2.1. Los Comienzos.** Como todas las civilizaciones antiguas, Grecia inicia su cultura con un sistema mitológico de muchos dioses, con uno principal (Zeus; posteriormente, Júpiter en la versión romana) además de leyendas relacionadas con el nacimiento del mundo y sus características. El legado, por lo tanto, consta de a) una mitología muy rica que forma una religión con templos y ritos; además y al mismo tiempo, de b) los comienzos de la astronomía y la geografía. Por ejemplo, la expresión “Vía Láctea” denota al conjunto denso de estrellas que apreciamos a simple vista en un cielo sin nubes y que corresponde, en el mito, al chorro de leche que saltó del pecho de Hera, la esposa del dios de dioses (Zeus), produciendo la **Vía Láctea** cuando retiró de su pecho, en forma brusca, a Hércules, hijo bastardo de Zeus con la mortal Alcmena. La historia de la Vía Láctea sigue con Demócrito (460 a. C.- 370 a. C.), quien sugirió que aquel haz blanco en el cielo era en realidad un conglomerado de muchísimas estrellas demasiado tenues individualmente como para ser reconocidas a simple vista. Su idea, no obstante, no encuentra respaldo observacional hasta 1609 cuando el astrónomo italiano Galileo Galilei hace uso del telescopio y constata que Demócrito estaba en lo cierto, ya que a donde quiera que mirase, la vía láctea se encontraba llena de estrellas.

**2.2. Tales de Mileto.** Aún con incertidumbre en cuanto a su obra, es claro que el inicio de la ciencia griega, en cuanto a aplicar métodos racionales al estudio de la Naturaleza, parte con Tales de Mileto (623-540 AC), filósofo, matemático, geómetra, físico y legislador griego, con una serie de discípulos donde destacarán Anaximandro y Anaxímenes (discípulo del anterior). Gran parte de, si no toda, su obra le es asignada sin clara evidencia, pero su fama, propagada a generaciones posteriores, es tan grande que hay poca duda de su importancia en este papel

histórico. Entre Tales y Demócrito hay alrededor de 160 años con pocos registros históricos accesibles. Aunque buscaba la causa primordial de las cosas (según él, el agua), no abandonó los dioses de la época. Con todo, no cabe duda que propuso fundar sus explicaciones en **principios** y **causas**, inaugurando el modo típicamente griego de “explicar” el mundo.

El importante papel de la religión en la cultura griega existe, a pesar del carácter racional de la ciencia y filosofía griega. No hay que olvidar que uno de sus principales filósofos, Sócrates (470 AC – 399 AC), fue condenado a muerte, entre otras cosas, por pecar contra la religión. Murió a los 70 años de edad, aceptando serenamente beber veneno, método elegido por un tribunal que le juzgó por no reconocer a los dioses atenienses y corromper a la juventud. Según relata Platón, en la *Apología* a su maestro, éste pudo haber eludido la condena, gracias a los amigos que aún conservaba, pero prefirió acatarla y morir.

**2.3. Principales Hitos Históricos de la Antigüedad en Europa**, El siguiente listado destaca los principales hitos del comienzo de la ciencia en la antigüedad en el Mediterráneo de Europa.

~585 AC Tales de Mileto predice el eclipse solar que, históricamente, pone fin a la Batalla de Halya y a la guerra entre medos y lidios.

~530 AC Pitágoras funda la escuela matemática de Crotona, en el sur de Italia. Pitágoras sugiere que la Tierra es esférica, no plana.

~500 AC Jenófanes encuentra conchas marinas en montañas y deduce que toda la Tierra estuvo cubierta de agua en el pasado.

~450 AC Empédocles sugiere que todo en la Tierra está hecho de combinaciones de tierra, aire, fuego y agua.

~325 AC Aristóteles escribe varios libros sobre temas de física, biología y zoología.

Ya en tiempos de Aristóteles se sabía que la Tierra era aproximadamente esférica (por la manera de cómo se ven llegar o salir los barcos en las bahías) y se habían modelado los eclipses de Luna y del Sol.

Ejercicio.

Describe el eclipse de Luna, con la Tierra entre el Sol y la Luna, así como el eclipse del Sol, con la Luna entre la Tierra y el Sol. Para ello, los griegos tomaron al Sol, Tierra y Luna como cuerpos esféricos.

~300 AC Teofastro escribe *Historia de las Plantas y Sobre las Causas de las Plantas* inaugurando la Botánica.

~250 AC Aristarco de Samos sugiere que el Sol, no la Tierra, es el centro del Universo al encontrar que el radio del Sol es mucho mayor que el de la Tierra.

~240 AC Arquímedes descubre la fuerza de empuje del agua y lo aplica a distinguir la pureza de una corona de oro.

~240 AC Eratóstenes calcula el radio de la Tierra (tomada como esfera) a partir de la sombra que produce el Sol a mediodía en el solsticio de verano.

~230 AC Ctesibio construye clepsidras (relojes de agua) que serán los más precisos del mundo durante siglos.

~139 AC Hiparco descubre la precesión de la órbita terrestre (¿qué es?) y compila el primer catálogo de estrellas de Occidente.

~120 DC En China, Zhang Heng reflexiona sobre los eclipses y compila un catálogo de 2500 estrellas.

~150 DC El *Almagesto* de Claudio Tolomeo se convierte en el texto de astronomía predominante, pese a los errores que contiene. En este texto, la Tierra está en el centro del Universo con un complicado movimiento de planetas, Luna y Sol (epiciclos) para modelar el movimiento observado. Imperará en Europa Occidental hasta el Renacimiento; cuando los trabajos de Kepler, Galileo y Newton, entre otros, lo sobrepasan.

628 El matemático indio Brahmagupta establece las primeras reglas para el uso del símbolo cero.

964 El astrónomo persa Abderramán al-Sufi actualiza el *Almagesto* y da, a muchas estrellas, los nombres árabes que siguen en uso hoy.

1021 Albacén, pionero de la ciencia experimental, desarrolla una investigación original sobre la visión y la óptica.

Reduciremos el estudio de la ciencia griega a describir parte del trabajo de un gigante, Aristarco de Samos (c. 310 a. C.-c. 230 a. C.). Además, enfatizamos la importancia de la Biblioteca de Alejandría. El estudiante puede revisar el cálculo de Eratóstenes del radio de la Tierra; éste cálculo apareció en una olimpiada anterior.

Parte de la ciencia antigua está dominada por consideraciones filosóficas y místicas. Por ejemplo, Empédocles (490-430 AC) hablaba de dos fuerzas (amor y odio) que aplicadas a los cuatro elementos genera todo lo visible.

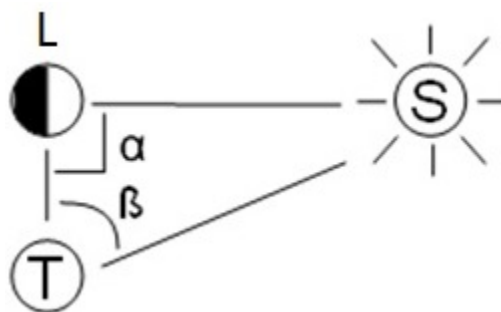
**2.4. Erastótenes y la Biblioteca de Alejandría.** Mencionaremos dos actividades adicionales de Erastótenes (276-184 AC) que, junto con Aristarco, son dos de los científicos más sobresaliente en la Antigüedad en Grecia: a) introduce coordenadas en los mapas, semejantes a las actuales latitud y longitud, b) fue director de la famosa Biblioteca de Alejandría. Dicha Biblioteca, hasta sus varias destrucciones (incendios) por celos religiosos y políticos, fue el centro de estudios más importante de la Antigüedad. En ella, investigaban los sabios más sobresalientes; por ejemplo, Euclides y Arquímedes. Su desaparecimiento es un símbolo cultural de la destrucción; ocurrió en varias etapas de los primeros siete siglos de nuestra era. Varias culturas y religiones han sido culpadas. No podemos abandonar el tema sin mencionar a Hypatia de Alejandría.

**2.5. Hypatia de Alejandría (355 o 370, marzo de 415 o 416).** Es considerada la primera mujer científica de la Antigüedad; su actividad la desarrolló en el Museo de la Biblioteca de Alejandría, donde su padre fue director. Cultivó varias disciplinas: filosofía, matemáticas, astronomía, música... y durante veinte años se dedicó a desarrollar y enseñar sus conocimientos. Con mucha belleza, llegó a simbolizar la ciencia que los primeros cristianos identificaron con el paganismo. Vivió en una época de persecución para todo aquél que no se convirtiera al cristianismo y renegara su ciencia. Hypatia se negó a traicionar sus ideas por lo que fue acusada de conspirar contra el líder cristiano de Alejandría. Fanáticos religiosos, en forma muy cruel, pusieron fin a su vida. (La relativamente reciente y recomendable película *Agora*, dirigida por el español A. Amenábar, recrea parte de esta mezcla de leyenda e historia).

**2.6. Método de Aristarco para determinar la distancia relativa Tierra-Sol.** Veamos el método geométrico de Aristarco (310 al 230 A.C.) para determinar la distancia relativa entre la Tierra y el Sol (tema desarrollado en una Olimpiada anterior). Este es el único trabajo que sobrevive a su autor, aunque fue su cuidadosa observación de un eclipse lunar, indicando la posición del sol en el lado opuesto del cielo, lo que permitió que Hiparco, 169 años más tarde, deducir la precesión de los equinoccios.

Una observación de un eclipse lunar convenció a Aristarco, al ver la sombra de la Tierra en la Luna, que el diámetro o radio de la Tierra era el doble que el de la Luna. El siguiente experimento fue observar cuando la media luna estaba iluminada por el Sol.

En la siguiente figura, la Luna (L) está señalada por un semicírculo iluminado que se encuentra dibujado frente al Sol (S). Debajo de la Luna, se encuentra la Tierra (T). Consideraremos, en principio, que la luz del Sol (S) llega en forma perpendicular a la Luna, cuando ésta se encuentra en el primero o último cuarto, es decir, cuando el ángulo  $\alpha$  es muy cercano a  $90^\circ$ . Y este es un punto crítico pues el ángulo del triángulo en L no es de  $90^\circ$  sino de  $89.86^\circ$ , que Aristarco estimó en  $87^\circ$ . Note que el problema consiste en calcular la distancia de T a S en unidades LS; es decir, calculamos la razón TS/TL. Al usar el valor obtenido de  $\beta$ , Aristarco obtuvo 20 veces en vez de 400 veces.



Ya que tanto el disco solar como el lunar tienen un muy parecido diámetro aparente de unos 32 minutos de arco, la distancia Tierra-Sol es mucho mayor que la distancia Tierra-Luna; por consiguiente, el Sol debe ser mucho más grande. Al ser el Sol mucho mayor que la Tierra, Aristarco creía improbable que un cuerpo grande orbitará sobre uno mucho menor, siendo el primero en opinar que la Tierra gira alrededor del Sol.

**3. Edad Media, Renacimiento y Desarrollo Posterior.** No hubo un significativo desarrollo de las Ciencias durante la Edad Media en Europa y Asia. Hay que esperar al comienzo del Renacimiento para que ocurra el renacimiento de la ciencia, arte, filosofía y, en general, de la Cultura en Europa. El estudiante debe conocer el papel que el Imperio Bizantino y la civilización de los imperios indios y árabes tuvieron para mantener y actualizar catálogos astronómicos que provienen de la Antigüedad, así como de la cultura greco-latina. No es sorpresa, por tanto, que la Astronomía tenga grandes avances por la invención del telescopio, además del uso de información guardada por siglos y el trabajo de Galileo, Kepler y Newton. Los catálogos son la base para inducir las leyes de Kepler y su posterior fusión en la teoría de la gravedad de Newton. Luego, sigue el enorme desarrollo que protagonizan físico-matemáticos como Newton, Laplace, Leibniz y Maxwell para llegar a la explosión del conocimiento físico a fines de los siglos XIX y comienzos del XX con los nombres, sin mayor orden, de Dirac, Einstein, Born, Pauli, Poincaré,

Feynman, Eddington, Landau, Chandrasekhar, Gamow, Hoyle, y tantos otros que han formado el cuadro de nuestra actual visión del cosmos.

**3.1. Física Clásica.** Se inicia con el avance en dos áreas: a) la Mecánica Clásica desarrollada a partir de las leyes básicas de la Mecánica y b) la teoría de la gravedad, ambas de Newton. La segunda proviene de la síntesis de las leyes de Kepler. Uniendo ambos conjuntos de leyes, fue necesario un desarrollo de métodos matemáticos y numéricos para resolver las ecuaciones en derivadas parciales y su aplicación a problemas como la determinación de las órbitas de planetas, satélites y cometas, trabajo que se realizó básicamente en el siglo XIX. En la segunda parte del s XIX, aparece la teoría del electromagnetismo y la mecánica estadística.

**3.2. La Historia de las Dos Nubes y el Nacimiento de la Física Moderna.** Fue una época optimista en que cualquier problema físico en que se dieran condiciones iniciales y de frontera parecía poderse resolver. Pero, dentro del optimismo de los físicos, uno de ellos, Lord Kelvin, señaló en un discurso de 1900 a dos “nubes”:

“La física es un conjunto perfectamente armonioso y en lo esencial acabado, en el que sólo veo dos pequeñas nubes oscuras: el resultado negativo del experimento de Michelson y Morley, y la catástrofe ultravioleta en la explicación de la radiación del cuerpo negro”

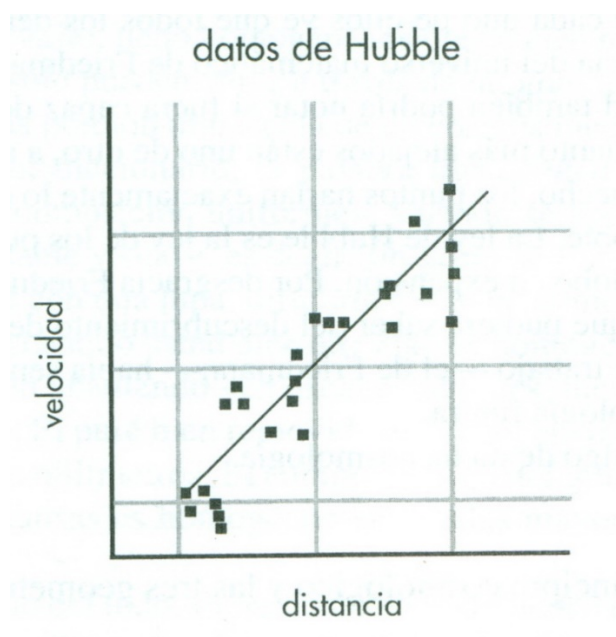
La falla del experimento de Michelson y Morley se refiere a la falla para detectar el movimiento de la Tierra relativo al “éter”. La segunda nube proviene de la Mecánica Estadística y tiene que ver con el cálculo (modelo) de la capacidad calórica en gases; el uso de herramientas teóricas estándares, (teorema de equi-partición) predecía valores en desacuerdo con los medidos. La solución a la primera nube lleva a Einstein a la teoría de la relatividad; la segunda, a Planck a la teoría cuántica que resolverá este problema junto con el de la radiación del cuerpo negro, al aplicar correcciones a la teoría clásica. Así las “dos nubes” originaron las dos columnas de la Física Moderna, imprescindibles en el estudio cosmológico.

A lo anterior, se agrega la parte experimental, con el descubrimiento progresivo de la vastedad del Cosmos con miles de millones de galaxias compuestas, a su vez, de miles de millones de estrellas con sus posibles sistemas solares.

#### **4. Principales Resultados en Cosmología.**

**4.1. Corrimiento al Rojo del Espectro de las Galaxias.** Esta ley, descubierta por Hubble en 1929 en el Observatorio del Monte Wilson, California, señala el corrimiento al rojo del espectro de luz que proviene de las galaxias. La interpretación inmediata es que el Universo se expande ya que las galaxias, donde quiera que se mire, muestran este fenómeno y es necesario interpretar el; corrimiento al rojo por el efecto Doppler. Este efecto señala el cambio del espectro de una onda

emitida por un cuerpo en movimiento. Tiende *al extremo violeta/azul* del espectro si el movimiento es *hacia* el observador y tiende al *extremo rojo* si el movimiento es *en la dirección contraria*, hacia el observador. La conclusión es que las galaxias se alejan de un observador en la Tierra. Dado que nuestro observador no puede ser privilegiado, se concluye que cada galaxia se aleja una de otra y, generalizando, concluimos que el espacio se expande, lo que se cuantifica por la ley de Hubble: *las galaxias se alejan una de otras con una velocidad  $v$  que cambia en forma proporcional a la distancia*. La ley de Hubble se describe como  $v = H_0 * d$ , donde  $v$  es la velocidad de la galaxia cuyo espectro es observado;  $H_0$  es la constante de Hubble, estimada en 71 a 72 Km/(seg-Mpsc) con una variabilidad entre 4 y 8 unidades (Ver las definiciones de distancias astronómicas más abajo). No es difícil deducir, dada la constancia de la velocidad, que ella representa el valor inverso de la edad del Universo. Mediciones recientes indican que la expansión del Universo se está acelerando.



**Ejercicio.** Calcule la edad del universo

**4.2. Unidades de Distancias Astronómicas.** Las dos más usadas, además de aquéllas de los sistemas [cgs] y [MKS] son:

$$1 \text{ parsec} = 3083 \times 10^{18} \text{ cm} = 3259 \text{ años-luz}$$

$$1 \text{ año-luz} = 9461 \times 10^{17} \text{ cm} = 0.3069 \text{ parsec}$$

Un parsec corresponde a un paralaje (vean más abajo) de un ángulo de un segundo.



**4.3. Big-Bang.** Hubble (Observatorio del Monte Wilson, California) encuentra la ley que lleva su nombre implica la expansión del Universo de lo que se infiere que las galaxias estuvieron cada vez más juntas en el pasado, con una densidad y temperatura muy altas. Esto nos lleva al Big-Bang, un origen explosivo de nuestro Universo hace unos 15 mil millones de años. Este resultado ha sido verificado independientemente de un modo curioso. Algunos ingenieros, en un trabajo no relacionado con la Astronomía, encontraron una fuente de radiación de microondas universal que puede asociarse a un cuerpo con una temperatura de  $3^0\text{K}$ ; es decir, la temperatura que habría alcanzado hoy el gas en expansión que resultó del Big Bang. Es decir, esta radiación de microondas universal nos permite “oir” las reverberaciones de la primigenia “gran explosión”.

Existe una gran (y muy especializada) bibliografía relacionada con el estudio de la evolución de la materia (desde partículas elementales hasta cubrir la serie periódica de elementos). En los primeros instantes, el Bing Bang produjo fundamentalmente partículas elementales, hidrógeno y helio. Las reacciones de fusión en las estrellas produjeron todos los demás elementos químicos. Así que, finalmente, la diseminación de los elementos pesados resulta de la explosión de estrellas, las supernovas. Dentro de estos elementos pesados está el muy necesario carbono, imprescindible para la existencia de vida orgánica. De ahí, el poético dicho: “*somos polvo de estrellas*”.

Las condiciones extremas del comienzo del Universo indican, para su comienzo, una singularidad en densidad, temperatura, presión y curvatura en que la teoría de Einstein no es adecuada para describir este comienzo puntual del cosmos. La teoría sólo puede estudiar cómo evolucionó posteriormente, dadas condiciones que los físicos pueden imaginar. La primera fase de la expansión, en un factor de  $10^{105}$  veces en un intervalo de tiempo de  $10^{-35}$  [seg], es ya suficientemente inconcebible. Curiosamente, esta situación permitió, según Hawking, que hubiera cierta homogeneidad en el desarrollo de este nacimiento, aunque las dificultades de combinar física cuántica (pequeñas partículas en extremas condiciones) con física relativista (grandes masas a grandes velocidades) son grandes. El estado inflacionario debe haber tenido sectores expandiéndose a velocidades mayores que la luz.

El párrafo anterior indica que el estudio del Cosmos debe tener especialistas en Física de Partículas. Además, dadas las grandes distancias y masas propias del Cosmos, específicamente las grandes masas asociadas a estrellas, hoyos negros y galaxias, así como sus también (potencialmente) grandes velocidades, nos llevan a concluir que este estudio debe incluir las dos grandes ramas de la Física Moderna, es decir, Relatividad y Física Cuántica. La integración de toda la física incluye

nuevos sectores, como *teoría de cuerdas*. La *teoría del todo* ha sido materia de ardua investigación durante la mayor parte de este siglo ocupando las mejores mentes incluyendo a Einstein y Hawking.

## 5. Conceptos Básicos de Física Moderna.

**5.1. Conceptos (muy) Básicos de Física Relativista.** La Relatividad Especial nace del simple hecho de que la velocidad de la luz es constante con respecto a la velocidad del emisor y receptor. Esto parece extraño si el estudiante recuerda la ley del paralelogramo para sumar (o restar) velocidades que se estudia en la Estática de la Mecánica Clásica. Suponiendo que no hay roce del aire (cosa difícil de que se cumpla para objetos que se mueven en la atmósfera), las velocidades se suman vectorialmente. Pero, la velocidad de la luz es la misma para un mismo medio físico, independientemente de la velocidad del emisor. Si invertimos la expansión en el tiempo, llegamos a que la materia del Universo debió estar reunida en un punto y sujeta a presiones y temperaturas inmensas, lo que nos lleva a la Gran Explosión o, al popular “Big-Bang”.

**5.2. Conceptos (muy) Básicos de Física Relativista Especial.** Hubo tentativas de medir la velocidad de la luz con respecto al “éter luminífero”, considerado el medio en que se transmitían las vibraciones transversales de la luz. Los resultados fueron negativos. Einstein, a los 26 años, simplemente postuló que esa velocidad es constante, que el “éter luminífero” no existía y sacó conclusiones de esa hipótesis. Por la definición de velocidad constante, se concluye que el tiempo y la masa pasan a depender del sistema en movimiento.

Una consecuencia famosa de la constancia de la velocidad de la luz en sistemas inerciales es la equivalencia entre masa y energía  $E=mc^2$ , fórmula atrayente por lo simple, que nos indica el contenido de energía de un cuerpo de masa  $m$  y que nos sirve, por ejemplo, para explicar la cantidad de energía irradiada por el Sol. En el astro, cuatro núcleos de Hidrógeno se pueden fusionar en un núcleo de Helio. Esta fusión implica menos masa que los núcleos de hidrógeno; la diferencia se convierte en energía de fusión. En cada segundo, la fusión en el núcleo solar convierte 200 millones de toneladas de hidrógeno en helio. El estudiante puede calcular la energía total liberada por el proceso y hacer un cálculo aproximado de la vida efectiva del Sol.

**5.3. Conceptos (muy) Básicos de Física Relativista General.** Si la Especial, se refiere a sistemas con velocidades constantes, la Relatividad General, lo es para sistemas acelerados. Lo que cambia mucho la situación porque un sistema acelerado es equivalente a un sistema sujeto a fuerzas. Desde luego, el campo de fuerzas más común en el Universo es el gravitatorio. Este campo de fuerzas se puede visualizar

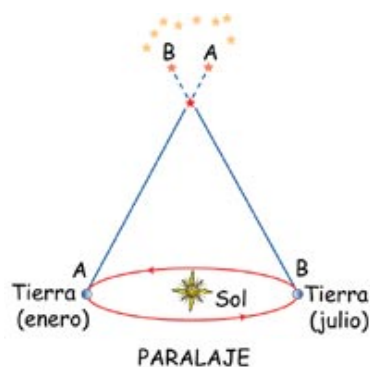
por líneas o superficies equipotenciales que son, al mismo tiempo, geodésicas para partículas masivas; es decir, son el camino natural de las masas en movimiento libre. Desde este punto de vista, el campo de fuerzas “curva” el espacio para el movimiento de las cargas gravitatorias; la teoría predice este efecto también para fotones; es decir, para los rayos de luz. En 1919, este último efecto fue observado en un eclipse de Sol por el físico inglés Eddington, quien midió la desviación de los rayos de una estrella al pasar cerca de la periferia y desde detrás del Sol. De donde viene la discusión de si los fotones tienen masa. Es curiosa la diversidad de opiniones que puede encontrarse en Internet con respecto al tema “¿Tiene masa un fotón?”.

**5.4. Teoría de Cuerdas.** Al unir varias teorías físicas, se busca compatibilizar diferencias. Por ejemplo, puede pensarse en como compatibilizar la teoría gravitatoria con mecánica cuántica. Las restricciones originadas pueden incluir la necesidad de espacios multidimensionales, con más de las tres dimensiones que aceptamos habitualmente. Con ello, se consigue leyes de la naturaleza más sencillas y elegantes. La teoría de cuerdas trabaja, como cualquier teoría con abstracciones matemáticas y se originó para explicar la interacción nuclear fuerte que mantiene unidas las partículas en el núcleo y la conducta de los hadrones, partículas compuestas sujetas a la influencia de dicha interacción nuclear. En la teoría, las partículas elementales pueden representarse mediante entes inconcebiblemente pequeños y prácticamente unidimensionales, las cuerdas. Ellas se desplazan en el espacio tridimensional común, pero, además, vibran en dimensiones de orden mayor a esas tres. Estos entes se pueden desplazar en el espacio ordinario. Los modos de vibración (notas) corresponden a las partículas elementales, incluyendo algunas hipotéticas, como los gravitones. Para responder la crítica de que las dimensiones extras no son observadas, ellas, además de ser pequeñas, se pueden replegar o “enrollar” como en tubos muy delgados, esencialmente unidimensionales, aunque tienen dos dimensiones laterales muy pequeñas enrolladas.

**5.5. Agujeros Negros y Materia Oscura.** Es probable que exista un agujero negro en el centro de nuestra galaxia. Los astrónomos que estudian la radiación que nos llega desde el centro de la galaxia ven un enorme espacio vacío en el centro, libre de gases, pero rodeado de gigantes y caóticos jirones de materia. Por su movimiento, concluyen que existe un masivo objeto en el centro de la galaxia; es decir, *un agujero negro*. Por otro lado, los cálculos de energía en la galaxia sugieren una fuente adicional, la materia oscura. Ella ocupa un espacio en los brazos en espiral de nuestra galaxia y se extiende muy afuera de ellos. Se puede hacer balances de energía tomando en cuenta las ondas de radio generadas en esos sitios. Las fuerzas gravitatorias necesarias para explicar los movimientos observados no corresponden a la distribución de masas observada. La fuente de esta fuerza extra necesaria correspondería a una hipotética *materia oscura*.

**5.6. Constante Cosmológica y Materia Oscura.** Originalmente, Einstein creyó en un universo estático. En 1915, introdujo una fuerza “anti-gravitatoria” que estaba inserta en la estructura del espacio-tiempo. Cuando se concluyó que el universo no es estático, Einstein eliminó dicha fuerza de su teoría y llamó a su idea “el error más grande que había cometido. Sin embargo, en 1998, las observaciones de supernovas muy distantes revelaron que el universo se está expandiendo a un ritmo muy acelerado y la constante cosmológica fue resucitada como fuerza antigavitante. Con el valor justo para evitar que el universo se hubiera disgregado antes de la formación de las galaxias.

**6. Medición de la Distancia de Nuestro Sistema Solar a Una Estrella. Método del Paralaje.** Una forma de atacar este problema es generalizar los métodos utilizados por los griegos para calcular la distancia Tierra-Sol en unidades de la distancia Tierra-Luna. Esto, en un muy espacialmente ampliado tema, nos lleva al **método de paralaje**. Aunque existen otros, nos limitaremos a este método en nuestras Notas. Dada las enormes distancias a las estrellas, es relativamente fácil predecir que necesitamos triangular en distancias del orden de la órbita de la Tierra. (La geometría del método está representada en la figura siguiente).



Tomamos como base los dos puntos que limitan al eje mayor de la órbita de la Tierra alrededor del Sol. Uniendo estos dos puntos con la estrella en cuestión, tendremos un triángulo isósceles. Para simplificar, podemos dibujar la altura al vértice en la estrella y que llega al punto medio de la base del triángulo. Si medimos el ángulo interno del vértice en la estrella, tenemos que conocemos ese ángulo, el ángulo recto y la longitud del eje mayor de la órbita de la Tierra. La distancia del centro de nuestra órbita a la estrella es la longitud de la altura del triángulo isósceles. Se acostumbra llamar **paralaje** al pequeño ángulo mencionado y se mide a través de su tangente que es la razón entre un semieje mayor de la órbita de la Tierra y la distancia de la

estrella al centro del plano de la órbita de la Tierra. Los valores característicos resultan ser del orden de segundos de arco. No es difícil notar que el valor de la tangente del paralaje es igual al semieje de la órbita terrestre dividido por la distancia del centro de la órbita a la estrella. Un *parsec* se define como una distancia estelar que cubre 1 segundo del arco de paralaje.

## 7. Temas Diversos.

**7.1. Cosmología y Ciencia Ficción.** Hay abundancia de películas y libros de ciencia ficción donde abunda la invasión de extraterrestres, viajes espaciales con hibernación, extra dimensiones espaciales, “gusanos” que “cortan” caminos a través de la curvatura del espacio, etc. El estudiante que considere la vialidad de estos temas debe tomar en cuenta lo siguiente.

Las estrellas más cercanas están a distancias del orden de años-luz.

1 año-luz = 9460730472580.8 Km ~  $10^{13}$  Km.

Radio de nuestra galaxia = 50 años luz

Distancia a la “cercana” Galaxia Andrómeda – 2.5 millones de años luz.

Distancia a la Galaxia del Molinete ~ 25 millones de años luz.

Con lo cual se puede introducir un toque de realismo en el tema de viajes espaciales.

**7.2. Espacios Multidimensionales.** También es un tema frecuente en ciencia-ficción, así como en tendencias “trascendentalistas”; en ese caso, para dimensiones “espirituales”. En varias áreas de la Física suelen aparecer espacios multidimensionales; por ejemplo, para poder formar construcciones que lleven a una “teoría del todo”. Para compadecer diversas teorías (por decir, gravedad relativista con teoría cuántica), puede que algunas igualaciones analíticas necesiten cumplir requerimientos como la necesidad de introducir espacios de seis o más dimensiones.

**7.3. El Lugar del Hombre en el Universo.** Vivimos en nuestro propio Universo en que los elementos químicos se construyeron secuencialmente después del Bing Bang. Quizás en uno de un conjunto de *multiversos* de posible existencia. Vivimos en un planeta con un adecuado Sol y a una adecuada distancia de él, en que el agua formó en los océanos a un caldo de cultivo que, desde hace unos 400 millones de años, permitió la evolución de seres orgánicos. En un planeta que no tuvo catástrofes, ni supernovas cercanas cuya explosión pudieron destrozar los intentos de vida. ¿Una casualidad entre millones de sistemas solares semejantes sin vida?

Los que apoyan la teoría del “*gran diseño*” alegan demasiada coincidencia con muy pequeña probabilidad de existencia. Los que lo ven como un resultado “natural” entre millones de posibilidades alegan, como Laplace, “no necesitamos esa hipótesis” y muestran el hecho frío de que todo lo que sucede es poco probable porque hay demasiadas posibilidades. Lo cierto es que el estudio del Universo, o de “nuestro” Cosmos, entrega una visión que nos obliga a aceptar con admiración la complejidad natural y, si volvemos al comienzo de estas Notas, con también la admiración de ver el desarrollo del conocimiento humano que, simbólicamente, nace en una isla del Mediterráneo, con un Tales de Mileto y hace 2500 años atrás.