



ASTRONOMÍA PARA INGENIEROS INQUIETOS

DE DONDE VENIMOS Y DONDE ESTAMOS

Este documento es de uso único e intransferible para el alumno matriculado en el curso. Cualquier reproducción física o digital del documento sin permiso de los autores vulnera los derechos de propiedad intelectual de los mismos.

INDICE

INDICE.....	3
1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. DE DONDE VENIMOS Y DONDE ESTAMOS	8
2.1 EL ORIGEN. DE DONDE VENIMOS.....	8
2.2 DONDE ESTAMOS	10

1. INTRODUCCIÓN

“Dos cosas llenan mi ánimo de admiración y respeto, siempre nuevos y crecientes, cuanto con más frecuencia y aplicación se ocupa de ellos la reflexión: el cielo estrellado sobre mí y la ley moral en mí”

(Immanuel Kant, 1724-1804)

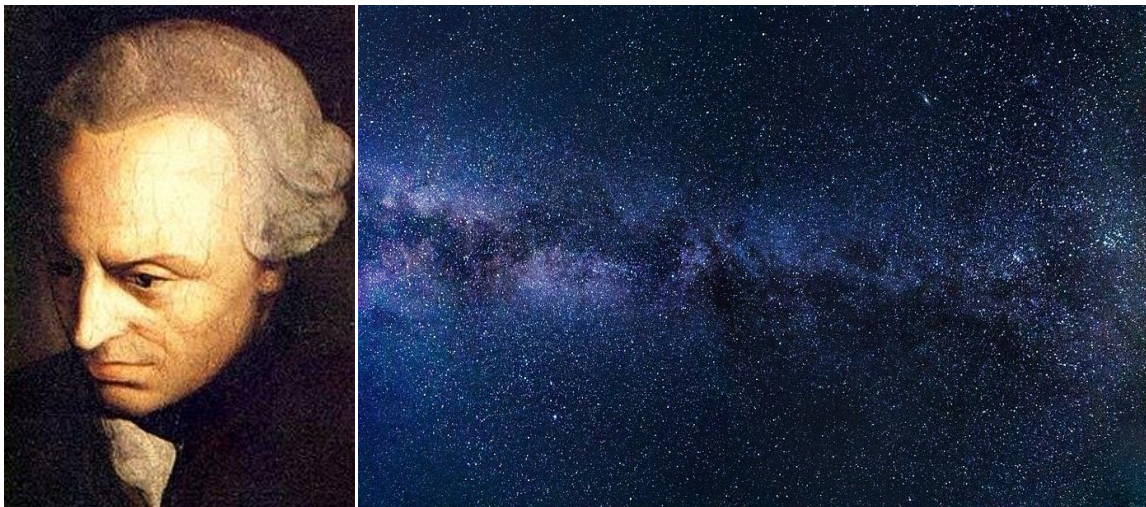


Figura 1: Immanuel Kant. Cielo estrellado. Fuente: Pixabay

El cielo nocturno ha sobrecogido a todas las personas desde que existe la humanidad y, de hecho, todas las culturas humanas han asociado el cielo estrellado con la morada de los dioses.

La inmensidad que se muestra en el cielo siempre planteó preguntas de tipo filosófico. Desde la más remota antigüedad se estudió el movimiento de los planetas, la duración exacta del año, las fechas de los equinoccios y solsticios. Y muy pronto los conocimientos astronómicos comenzaron a ser de inmensa utilidad para el hombre, permitiendo crear un calendario agrícola para sembrar, cosechar, etc.... Y desde luego será un conocimiento fundamental para la navegación.

Sin embargo, hoy en día la tecnología nos ofrece nuestra posición en todo momento, conocemos de manera digital y exacta la hora, el día y el año. De hecho, conocer cuándo va a tener lugar un eclipse ya no tiene ningún misterio porque nos avisan en los telediarios días antes. Y del cielo estrellado solo se disfruta cuando sales de las grandes ciudades.

Hoy en día ¿merece la pena saber predecir un eclipse? ¿Tiene sentido conocer la posición en la que te encuentras mirando a las estrellas? ¿Sirve de algo saber en qué lugar se encuentra el centro de nuestra galaxia? ¿Es de alguna utilidad saber calcular el radio de la Tierra o la distancia de la Luna?

Es muy posible que todos aquellos que no tienen los conocimientos básicos para alcanzar esta sabiduría, consideren un sinsentido dedicar ningún esfuerzo en esto.

Sin embargo, las personas que tienen conocimientos de física, geometría y matemáticas (ingenieros, arquitectos, licenciados en física, etc....) tienen la inmensa oportunidad de, con muy poco esfuerzo, alcanzar unos conocimientos astronómicos que pueden acercarlos al cielo...

Aquellas personas curiosas que alguna vez han visto a Saturno a través del telescopio, quizás se hicieron la misma pregunta que yo me hice un día ¿y esta belleza qué pinta allí lejos? ¿Quién la disfruta si antes de Galileo nadie la había visto jamás? ¿Tiene algún sentido?

La luna y los luceros más brillantes siempre se nos muestran, estemos donde estemos, impasibles a las preocupaciones y quehaceres humanos, recordándonos que quizás un día deberíamos dedicar tiempo a conocer más...

Estructura del curso:

Comenzamos haciendo una muy breve aproximación al lugar que ocupamos en el universo, para centrarnos enseguida en nuestra casa, el lugar donde estamos.

Nos haremos conscientes de cómo la concepción del lugar en que habitamos ha ido cambiando con el tiempo.

Posteriormente dedicaremos un capítulo amplio a los movimientos relativos entre el sol y la Tierra. Como son en realidad y como los vemos desde aquí. Esta será la base para entender cualquier otro conocimiento astronómico posterior: nos permitirá orientarnos, conocer los cambios en el calendario, e incluso nos permitirá datar la fecha de la construcción de determinados monumentos o la fecha en que se esculpieron determinadas obras de arte o se escribieron algunas obras literarias.

Centrándonos en las características específicas de nuestro planeta, nos sorprenderá realmente la singularidad tan asombrosa que ha ocurrido en la Tierra. Cómo el planeta ha ido evolucionando para albergar vida, y como a su vez la vida ha ido modificando el propio planeta, fabricándose un hogar a su medida. Es en este capítulo donde entenderemos las causas de las glaciaciones, las diferentes evoluciones geológicas y biológicas, y muchas otras cosas del máximo interés.

En un último capítulo conoceremos de qué modo influye la luna sobre la vida en la Tierra e incluso nos atreveremos a predecir eclipses de sol y de luna...

Objetivos:

El presente curso te ofrecerá un conocimiento de tu situación en este mundo y te permitirá realmente disfrutar observando y comprendiendo los sucesos que ocurren en tu pequeño planeta y en el inmenso cosmos. Y quizás te sorprenda alcanzar con este curso unos conocimientos realmente prácticos...

De hecho, al final de cada tema adquirirás una nueva capacidad que, con seguridad, te servirá alguna vez en tu vida real, y quién sabe si no te salve la vida.

Utilizando métodos astronómicos sencillos, ¿quieres ser capaz de...?

- Navegar con la ayuda de las estrellas conociendo en todo momento tu latitud, e incluso conocer tu longitud con la única ayuda de un reloj.
- Podrás orientarte en todo momento mirando a las estrellas
- Conocer cuándo y cómo se alcanzaron los principales descubrimientos astronómicos con métodos puramente experimentales y qué implicaciones tuvieron (radio de la tierra, radio y distancia de la luna, del sol, de los distintos planetas, de las estrellas, etc....)
- Fechar la construcción de un monumento megalítico con simples cálculos astronómicos. E incluso podrás conocer con cálculos astronómicos la fecha en que fueron escritos muchos documentos, poemas y obras literarias antiguas.
- Conocer, mirando al cielo, el día del año en el que te encuentras
- Conocer el régimen de los vientos y corrientes en el globo terráqueo y sus causas.
- Saber por qué se producen las mareas ¿y por qué las mareas están frenando el giro de la tierra? ¿y por qué están alejando la luna? ¿y por qué está esto relacionado con el hecho de que la Luna siempre nos enseñe la misma cara?

- Conocer cuándo será la próxima glaciación debida a fenómenos astronómicos y entender los acontecimientos climáticos que han ocurrido en el pasado terrestre
- ¡Serás capaz de Predecir eclipses! E incluso saber cuánto durarán
- Serás capaz de conocer, mirando al cielo, dónde está el centro de tu galaxia y dónde está la galaxia más cercana
- Podrás calcular la distancia de las estrellas ¿qué estrellas son de tu galaxia y cuáles no?
- Conocerás un sinfín de hechos históricos relevantes que están íntimamente relacionados con acontecimientos astronómicos ¿cómo es posible que Santa Teresa muriera el 4 de octubre y fuera enterrada al día siguiente, ¡el 15 de octubre!?
- ¿Por qué es imposible que hubiera habido un eclipse de sol el día de la muerte de Jesús de Nazaret? ¿qué es verosímil y qué no de los acontecimientos astronómicos descritos en los relatos evangélicos?

En definitiva, si viajaras en el tiempo a la Edad Media, tú solo con los conocimientos adquiridos en este curso, podrías ilustrar a los rectores de las Universidades de Salamanca, Oxford o París argumentando y demostrando cada una de las propuestas científicas que hoy en día todos dan por conocidas pero pocos comprenden o saben demostrar realmente.

¡Podrías poner en marcha el Renacimiento!

2. DE DONDE VENIMOS Y DONDE ESTAMOS

“Polvo eres, y en polvo te convertirás” Genesis III, 19

“Polvo soy, mas polvo enamorado” Quevedo

“Somos polvo de estrellas” Carl Sagan



Figura 2 Fuente: Pixabay

2.1 EL ORIGEN. DE DONDE VENIMOS

Todo lo que somos, la materia que nos forma, con sus átomos de hidrógeno, oxígeno, carbono, hierro, etc.... proviene de la explosión de una estrella anterior al sol hace 5,000 millones de años.

Una increíble explosión de una estrella anterior (supernova) proporcionó todo el material necesario para la formación de los planetas y de una nueva estrella, nuestro sol.

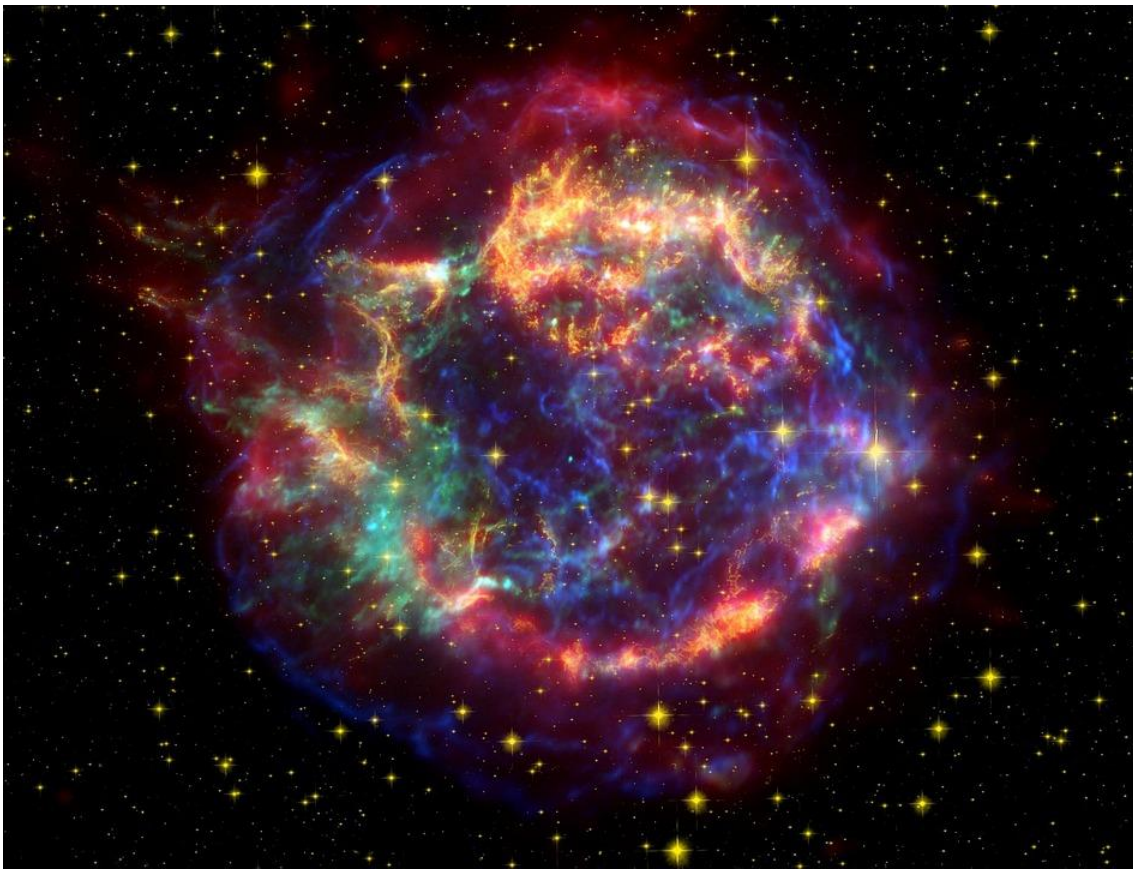


Figura 3: Explosión de una estrella. Supernova. Fuente: Pixabay

Las estrellas emiten inmensas cantidades de energía a lo largo de su vida, quemando el Hidrógeno de su núcleo para convertirlo en Helio. Los átomos pesados como el carbono, el hierro, etc.... solo se pueden formar por fusión en el interior de este horno nuclear. Cuando esta estrella ha consumido todo su combustible de Helio, puede explotar enviando todo este material de átomos pesados (carbono, hierro, etc....) de forma violenta al espacio. Ese es nuestro origen. De esto estamos hechos.

Por tanto todo lo que existe en la tierra, lo vivo y lo muerto, está constituido por átomos que provienen del horno nuclear de la estrella anterior. Un horno que permitió ofrecer la enorme diversidad de átomos de la tabla periódica, que nos ofrece hoy un planeta con agua, aire, tierra y vida.

A vibrant underwater scene featuring a large school of yellow and black striped surgeonfish swimming around a colorful coral reef structure against a deep blue background.

Figura 4: Peces de colores

¿Y las primeras estrellas de dónde vienen? Ya sabes que en realidad todo tuvo su origen en el Big Bang hace 15,000 Millones de años.

La Tierra y el Sol tienen una antigüedad aproximada de 5,000 Millones de años

El Universo tiene una antigüedad aproximada de 15,000 Millones de años

Parece absurdo hacerse la pregunta de dónde estamos. Sin embargo hasta hace muy poco la humanidad tenía un desconocimiento absoluto del lugar que habitaba.

Las civilizaciones más avanzadas pronto descubrieron que La Tierra era redonda. ¿Cómo lo supieron? Te sugiero que lo pienses antes de continuar.

¿Cómo pudieron saber las antiguas civilizaciones que La Tierra era redonda? ¿Habrías sido capaz de descubrirlo?

Antiguas civilizaciones como los sumerios, los egipcios, y mucho más tarde los griegos, descubrieron que La Tierra era redonda. El profeta Isaías (siglo VIII a.d.C) y el libro de Job (ambos son libros de la Biblia) dan a entender también la redondez de La Tierra. ¿Cómo se supo?

El primer indicio podría haber sido que La Luna y el Sol son redondos. ¿Por qué no iba a ser redondo el lugar donde habitamos?

Sin embargo había una prueba más evidente a alcance de la mano:

Una isla lejana como Ibiza no se puede ver desde la playa de Denia, sin embargo si puede verse desde el Monte Montgó que está un poco detrás de Denia.

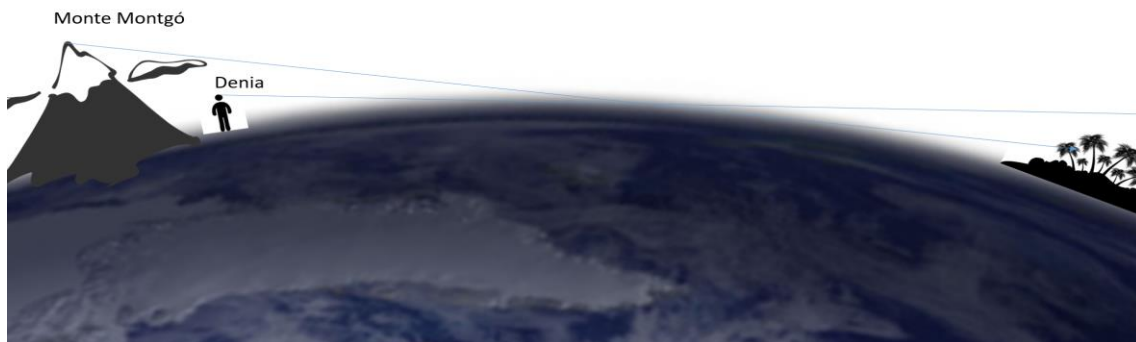


Figura 6

Ibiza se ve desde el Monte Montgó, pero no se ve desde la playa de Denia. Vemos en el dibujo como la visual que parte de la persona que está en Denia, tras pasar tangencial al horizonte acaba escapando al cielo. Sin embargo la visual desde el Montgó alcanza a ver la isla de Ibiza.



Figura 7

Ibiza (máxima altura 475 m) visto desde el Monte Montgó (753 m de altura). Se encuentran a una distancia entre ellos de 100 km.

Por otra parte, en un eclipse lunar La Tierra se coloca justo entre el Sol y nuestro satélite, de manera que La Luna deja de recibir la luz solar. Pues bien, la sombra que La Tierra proyecta sobre la luna en un eclipse lunar ¡es circular!, es decir, la Tierra debía ser redonda.



Figura 8: Eclipse de Luna.

Fuente: Pixabay

Pero la prueba definitiva, la realmente histórica, fue que los viajeros que venían del Norte veían como la estrella polar se veía más abajo cuanto más al Sur viajaban, como veremos luego.

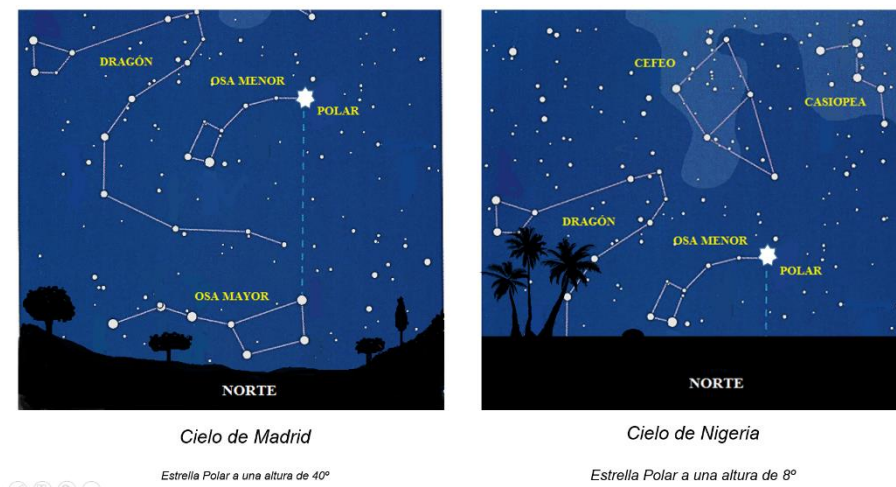


Figura 9

Fue la civilización griega, y en concreto Eratóstenes (siglo III a.d. C.) quien supo calcular el radio de La Tierra con una exactitud que aún hoy nos asombra. Dejaremos esto para más adelante, pero no viene mal que vayas pensando cómo pudo hacerlo hace 2,300 años.

Es importante considerar las implicaciones que tiene el descubrimiento de una Tierra redonda. Esto hacía pensar que vivían en una esfera que era el centro del universo. Vivían en una esfera finita que, ¡quizás alguien pudiera algún día circunnavegar!

Sin embargo esta solución planteaba muchos problemas: ¿Los que están en el hemisferio Sur como se sostienen? ¿Cómo no se caen hacia abajo?

La filosofía griega trató de responder a esta y otras muchas preguntas. Pero fue Aristóteles quien, sistematizando todo el pensamiento filosófico y científico griego, se aventuró a dar respuestas. En concreto, para responder a la dificultad antes planteada, argumentaba que había diferentes tipos de elementos: tierra, aire, fuego y agua, y cada materia tendía, por su propia naturaleza, a unirse a las materias del mismo tipo elemental. La tierra con la tierra, el aire con el aire, la lluvia hacia el río y el río hacia el mar, etc.... Así explica Aristóteles que las cosas de tierra siempre caen hacia el centro de La Tierra, pero no así el aire que sube. Finalmente, los cuerpos celestes eran considerados como cuerpos esféricos y perfectos. Esto último también dará que hablar en el renacimiento y creó muchas dificultades a Galileo.

Es decir, los griegos consideraron que vivíamos en el centro del universo, y todo giraba en torno a nosotros. Este pensamiento Aristotélico fue la base de todo el pensamiento científico clásico y medieval, considerándose incuestionable hasta el renacimiento. Y a nivel filosófico y religioso, esta forma de pensar encajaba bien con el pensamiento de la antigüedad y la edad media, porque situaba a La Tierra y al hombre en el centro.

Pero este modelo geocéntrico creaba también problemas importantes. ¿Cómo puede explicarse el movimiento de los planetas que a veces parecen avanzar respecto a las estrellas fijas y otras veces retroceder? ¡Ptolomeo (siglo II a.d.C) propuso una solución que será la referencia durante los siguientes 17 siglos! Tuvo que imaginar esferas inmensas (algunas más lejanas y otras más cercanas) que giraban en torno a la Tierra. La esfera más lejana es la que arrastraba a las estrellas y la más cercana era la que arrastraba a la luna. Algunas giraban en una dirección y otras en la opuesta. Así consiguió explicar el movimiento de todos los astros conocidos.



Figura 10: Esferas de Ptolomeo, Ptolomeo (s. II a.d.C.) Aristóteles (s.IV a.d.C.)

Mil seiscientos cincuenta años después, la dificultad de Colón no fue por tanto convencer a sus contemporáneos de que la tierra era redonda, eso era sabido. La dificultad era conocer su tamaño. El diámetro propuesto por Eratóstenes en época antigua suponía un tamaño enorme que colocaba la costa de China ¡a una distancia de 15,000 Km en barco desde Lisboa navegando hacia el Oeste! ¡Eso exigiría casi 9 meses de navegación sin avituallamientos ni descansos! Colón sin embargo presentaba a los Reyes católicos otros cálculos (erróneos) del radio de La Tierra que daban resultados de distancias mucho menores. Estos cálculos provenían del error realizado en el siglo I a.d.C. por el astrónomo griego Posidonio de Apamea (los que realizó Eratóstenes 150 años antes eran correctos pero fueron rechazados), apoyado posteriormente por Ptolomeo.

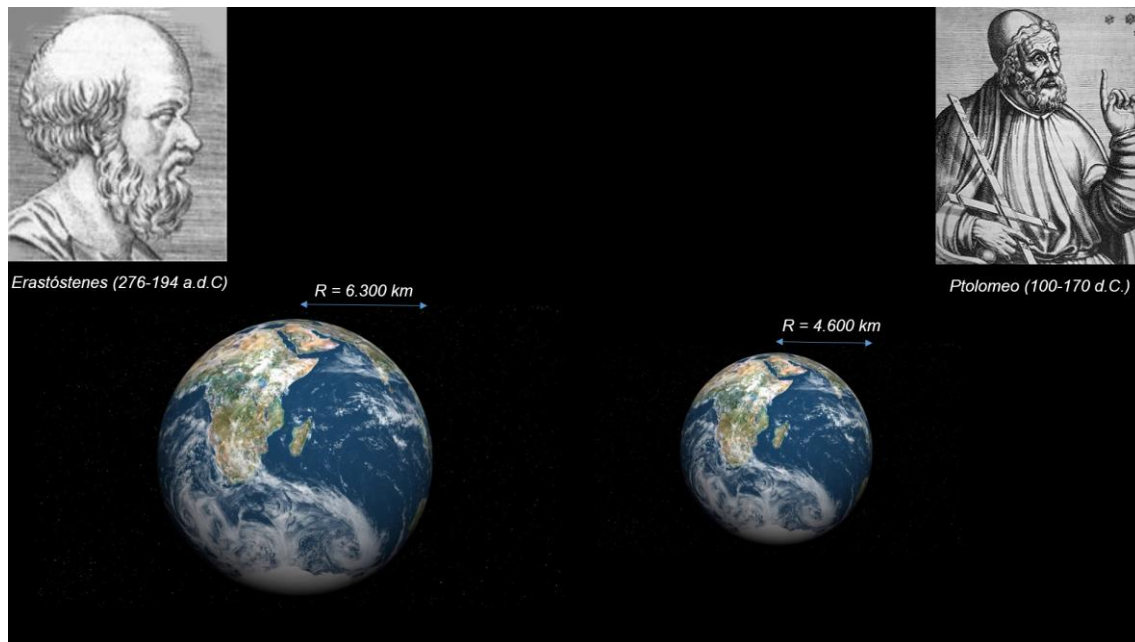


Figura 11

En el Siglo XV Toscanelli añade un error más. Considera que 5/6 del planeta es ocupado por Europa y Asia, y el otro sexto es océano.

Con estos datos Colón calculó que navegando 5,000 Km hacia el Oeste desde Canarias se toparía con la tierra de las especias y con China. Los consejeros de Castilla refutaron sus cálculos una y otra vez, pero Isabel la Católica le dio la oportunidad en cuanto conquistó Granada y terminó la reconquista, en 1492.

Colón se equivocó en sus cálculos y desde luego tuvo mucha suerte, de no haber existido el continente americano a buen seguro el océano se habría tragado a las tres míticas embarcaciones con todos sus hombres. Pero fue audaz y valiente, y sin duda alguna tuvo enormes aciertos que a día de hoy son casi un misterio. ¿Cómo sabía que la ruta más rápida con vientos a favor sería desde Canarias? ¿Cómo conocía la existencia de los vientos alisios que le llevarían con viento en popa todo el recorrido hasta las islas de las Antillas? ¿Cómo supo que para volver encontraría vientos más favorables con una ruta mucho más al Norte? Más adelante comentaremos esto cuando expliquemos el régimen general de los vientos de la Tierra.

Por tanto la Tierra era redonda. Magallanes la intentó circunnavegar pero solo llegaron a España Juan Sebastián Elcano y pocos hombres más, tras tres años de aventuras y penurias (1519-1522). Ni que decir tiene que estos hombres se hicieron una idea del tamaño y poder del planeta Tierra mucho más acertada que nuestra idea actual de un globo débil y pequeño que agrandamos, giramos y empequeñecemos a nuestro antojo con Google Earth.

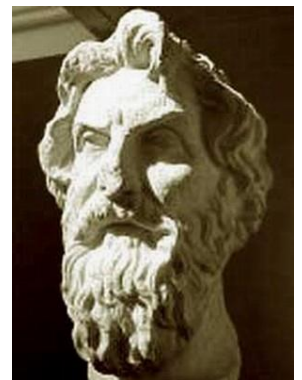


Figura 12: Juan Sebastián Elcano

Fernando Magallanes

La siguiente revolución o cambio de paradigma fue considerar que La Tierra giraba alrededor del sol y alrededor de sí misma. De nuevo fue un griego el primero en postular que La Tierra gira alrededor de sí misma, y alrededor del sol (Aristarco de Samos, s III a.d.C.). Sabemos por una cita de Arquímedes, que Aristarco escribió un libro en el cual avanzó una hipótesis alternativa del modelo heliocéntrico:

Tú, rey Gelón, estás enterado de que el *universo* es el nombre dado por la mayoría de los astrónomos a la esfera cuyo centro es el centro de la Tierra, mientras que su radio es igual a la línea recta que une el centro del Sol y el centro de la Tierra. Esta es la descripción común como la has oído de astrónomos. Pero Aristarco ha sacado un libro que consiste en ciertas hipótesis, en donde se afirma, como consecuencia de las suposiciones hechas, que el universo es muchas veces mayor que el *universo* recién mencionado. Sus hipótesis son que las estrellas fijas y el Sol permanecen inmóviles, que la Tierra gira alrededor del Sol en la circunferencia de un círculo, el Sol yace en el centro de la órbita.



Aristarco de Samos (s. III a.d.C.)

Sin embargo, la hipótesis planteaba muchos más problemas que los que solucionaba.

- Si la Tierra se mueve ¿Cómo es que no percibimos el movimiento de La Tierra? ¿Cómo es que los pájaros no se quedan atrás en el Oeste cuando nosotros giramos hacia el Este? ¿Cómo es que el agua no se acumula en la costa Oeste de cada mar?
- Pero además, una tierra que se mueve ¿en qué lugar deja al hombre? ¿Somos solo pequeños seres exiliados en una roca gigante que baila alrededor de una de las infinitas estrellas del universo?

Problema 2. Si fuera verdad que se mueve la Tierra...



Figura 13

Ni el conocimiento de la física griega ni la mentalidad de entonces, estaban preparados para responder a este tipo de preguntas y, por este motivo, la hipótesis de Aristarco nunca fue considerada en serio.

El modelo geocéntrico sobrevivió hasta que, al final de la Edad Media, Copérnico planteó de nuevo que el Sol estaba quieto y que la Tierra era uno de tantos planetas que giraban alrededor del sol.

PIENSA:

¿Cómo podrías haber ayudado a Galileo y a Copérnico a convencer a la Inquisición de que La Tierra gira alrededor del Sol y alrededor de sí misma? ¿Qué respuestas habrías dado a los problemas que esto plantea? ¿Por qué no notamos su movimiento?

Aunque la Edad Media es considerada una época oscura en el pensamiento occidental, casi todos los historiadores coinciden en que no habría sido posible el renacimiento y las revoluciones científicas posteriores sin la estructura de pensamiento que germina en la Edad Media. En el siglo XIV Guillermo de Ockham, fraile franciscano, propone el siguiente principio metodológico y filosófico: *En igualdad de condiciones, la explicación más sencilla suele ser la más probable*. Esto implica que, cuando dos teorías en igualdad de condiciones tienen las mismas consecuencias, la teoría más simple tiene más probabilidades de ser correcta que la compleja.

Intentando hacer el esfuerzo de imaginarse que vivimos en el siglo XV (siglo de Copérnico) debemos plantearnos ahora ¿qué es más sencillo pensar? ¿Qué la tierra está quieta y hay diversas esferas gigantes girando alrededor de nosotros, unas hacia un lado y otras hacia otro, que arrastran a los planetas y las estrellas fijas? ¿O que el sol está quieto y los planetas giran de manera elegante y circular alrededor de él?

Nicolás Copérnico se hizo esta misma pregunta y consideró que la solución más elegante y probable era sin duda que el sol estaba fijo y que la tierra giraba alrededor de él y de sí misma dando origen al ciclo anual y diario.

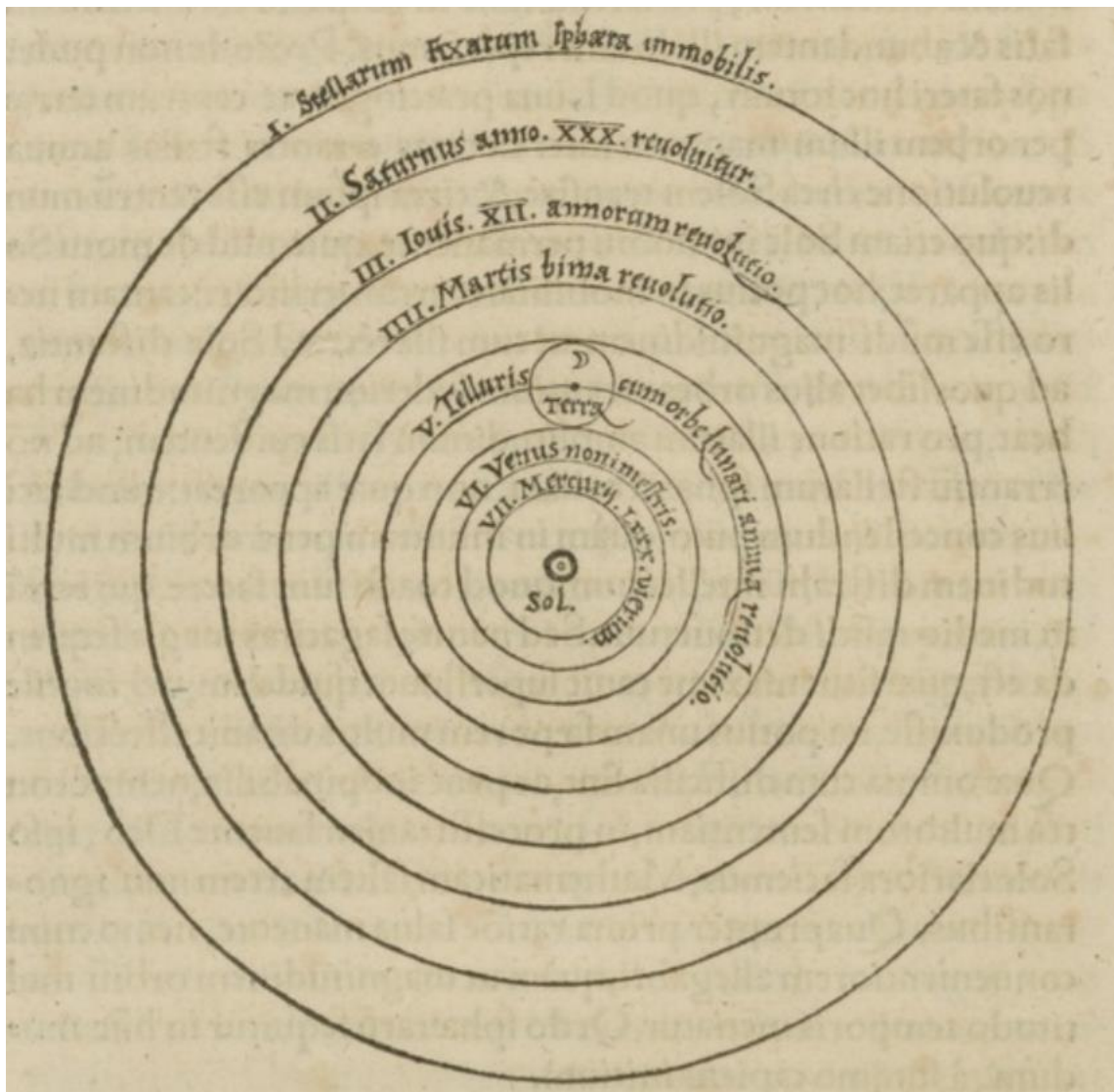


Figura 14

Así representaba Copérnico el mundo (extraído del documento original). Se puede observar la luna girando alrededor de la Tierra. Y todos los planetas conocidos girando alrededor del sol. Finalmente la bóveda de las estrellas fijas. Recomendando mucho la siguiente web de la UNESCO donde podréis encontrar cualquier libro original digitalizado: <https://www.wdl.org/es/>

Sin embargo no sabía dar respuesta a todos los problemas que este planteamiento ocasionaba ya que era necesario explicar cómo era posible que nuestro mundo estuviera moviéndose y rotando ¡y nadie lo percibiera!

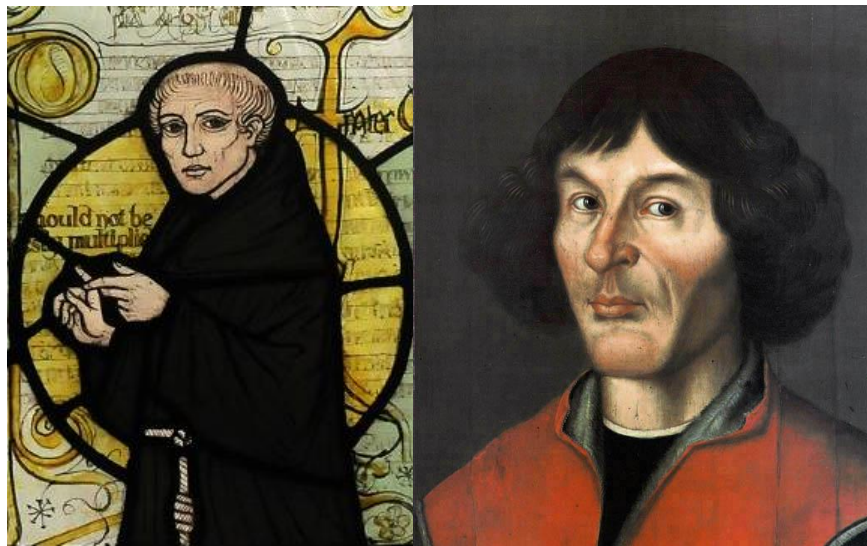


Figura 15: Guillermo de Ockham (s. XIV) Nicolás Copérnico (s. XV)

Tuvieron que pasar casi doscientos años hasta que una de las mentes más privilegiadas de la historia consiguiera aclarar de manera elegante y brillante muchos de los problemas que el modelo geocéntrico presentaba. Galileo Galilei publica en 1632 el “Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo, el Ptolemaico y el Copernicano”. Se trata de una de las obras cumbres de la literatura científica universal y de necesaria y recomendada lectura. Todo el planteamiento de Galileo en este libro es intentar refutar no solo a Ptolomeo, sino sobre todo a Aristóteles. El mundo científico se había construido sobre la piedra angular de este gran sabio griego y cuestionarle amenazaba con echar abajo todo el conocimiento de la física occidental.

Pero Galileo contó con una ayuda inestimable que ningún otro había tenido. Él mismo fue un gran físico e inventó y fabricó su propio telescopio y, por tanto, fue el primer hombre de la historia de la humanidad que fue capaz de ver los cráteres de la luna, las fases de Venus, las lunas de Júpiter, los anillos de Saturno, las manchas solares, etc....

Por primera vez los filósofos y pensadores comienzan a utilizar, de manera sistemática, el método científico. Ya no solo se dedican a pensar y leer, sino que, desde Galileo, salen ahí fuera y se dejan los ojos para mirar con telescopios rudimentarios cualquier movimiento anotándolo en sus cuadernos para luego hacer todo tipo de cálculos pertinentes.

Las cinco magníficas vistas reveladoras que descubrió Galileo con su rudimentario telescopio:



Manchas solares



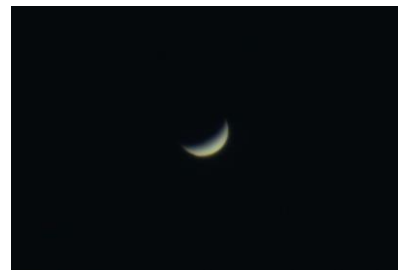
Satélites de Júpiter



Cráteres de la luna



Anillos de Saturno



Venus en fase creciente

Figura 16

En solo cuestión de pocos días Galileo revolucionó el conocimiento científico con sus observaciones e hizo avanzar la ciencia astronómica más que en los últimos 17 siglos. Los cráteres de la luna demostraban que los cuerpos celestes no eran perfectos, sino rocosos, como la Tierra. Las lunas de Júpiter demostraban que allí lejos los cuerpos se comportaban de manera idéntica a la propuesta de Copérnico (con observaciones en distintos días podía ver como los satélites iban girando alrededor de Júpiter) ¿no giraría también la tierra alrededor del sol? Las manchas solares demostraban que el propio sol giraba sobre sí mismo, y que tampoco era un cuerpo celeste perfecto ¿no giraría la tierra sobre sí misma también? Por último, los cambios en las fases de Venus (creciente o decreciente) demostraban que este planeta estaba girando alrededor del sol, sin duda la Tierra debía de hacer lo mismo.

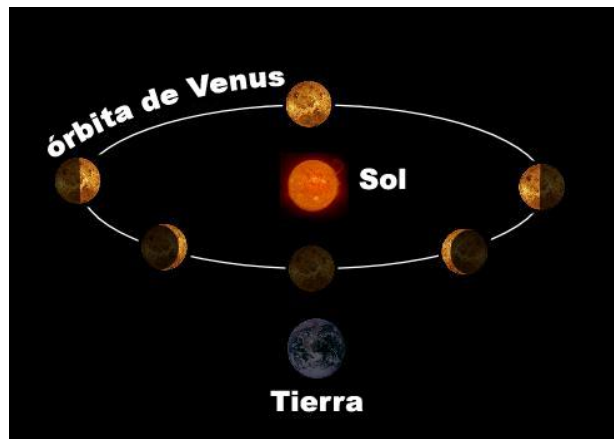


Figura 17: Explicación de las fases de Venus al girar alrededor del sol.

Pero aún quedaban problemas por resolver. ¿Por qué no notamos el movimiento? ¿Por qué los pájaros no se quedan retrasados hacia el Oeste cuando emprenden el vuelo? Si la tierra gira alrededor de sí misma en 24 h y el radio de La Tierra es de 6,300 km, entonces recorreremos $2 \times 3,14 \times 6,300$ Km en 24 h, es decir ¡nos movemos a 1650 Km/h! Una velocidad absolutamente escandalosa para la época, tiempos en que ir a 50 km/h a galope tendido con un caballo suponía un vértigo considerable ¿Cómo no íbamos a notarlo? Galileo pudo también dar respuesta a estos problemas.

Problema 1. Si es verdad que se mueve la Tierra...

¿a qué velocidad nos moveríamos debido al supuesto giro diario de la Tierra?

$$v = \omega \times R$$

$$\omega = 2\pi \div (24 \times 3600) \text{ rad/s}$$

$$v = \omega \times 6.300 \text{ km} = 0,46 \frac{\text{km}}{\text{s}} = 1.648 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

¡Los pájaros tendrían que volar hacia el Este a una velocidad de 1,648 km/h para no quedarse atrás!

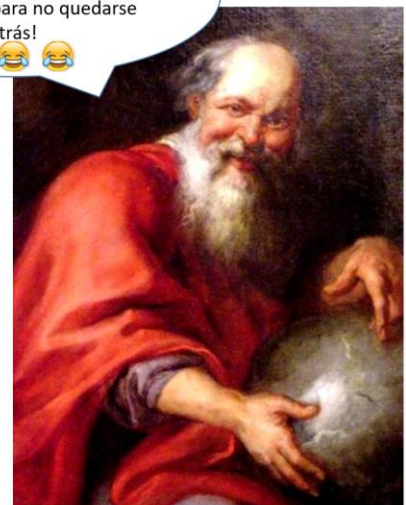


Figura 18

Con diferentes experimentos pudo demostrar que, en ausencia de rozamiento, la velocidad de los cuerpos se mantiene constante. Descubrió el principio de inercia y lo demostró dejando caer una piedra desde lo alto del palo mayor de un buque cuando este se trasladaba a gran velocidad. Él predijo que la piedra caería justo paralela al palo y golpearía la cubierta justo en la base del palo, sin quedarse atrás por el avance del barco. Y así fue (el leve retraso que sufrió la piedra fue debido al rozamiento del aire). En efecto, cuando dejamos caer la piedra ésta mantiene la velocidad de traslación que llevaba en el barco (velocidad de inercia) de manera que cuando llega al suelo ha recorrido en el aire el mismo tramo horizontal que el barco.

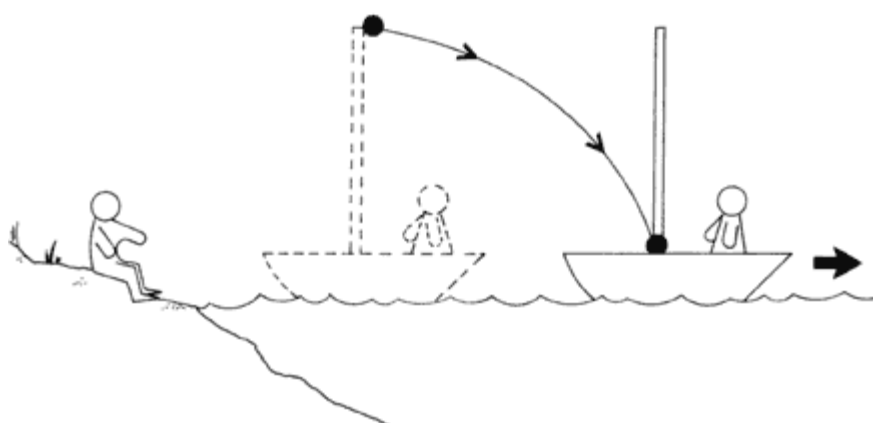


Figura 19

Con estos experimentos y con diversos argumentos magistralmente expuestos en el libro mencionado, explicó por qué los pájaros no se quedan retrasados hacia el Oeste a pesar de que nos movamos a 1,650 km/h (debido al giro de la tierra sobre sí misma). Cuando el pájaro alza el vuelo lleva ya esa misma velocidad inercial hacia el Este, y lo mismo ocurre con cada una de las partículas del aire, las nubes, y las gotas de lluvia. Todo se mueve acompañando el avance de giro de la Tierra hacia el Este.

También demostró (según la leyenda lo hizo lanzando objetos de diferente peso desde la torre inclinada de Pisa) que todos los materiales caen con la misma aceleración y velocidad hacia el suelo, con independencia de su masa. Y en efecto así es. ¡Postuló además que lo mismo debía ocurrir en el espacio!



Figura 20: Galileo en la torre de Pisa. El cuerpo pesado y el más ligero caen exactamente a la vez porque experimentan la misma aceleración.

Pero aún quedan algunas dificultades. Si no hay esferas a las que están agarrados los cuerpos celestes ¿Por qué la Luna no se cae hacia la Tierra? Galileo argumenta que en efecto se cae, pero lo hace de forma elegante, con una línea curva y de manera que nunca llega a tocar la tierra, es decir gira en órbita alrededor de nuestro planeta. La luna mantiene su velocidad de giro desde los inicios y así permanece con esa inercia desde entonces, cayendo en forma de círculo alrededor de la Tierra. Esto lo explicaremos con más detalle más adelante.

Aceptar que la Tierra se mueve y que es solo un planeta más, que gira alrededor de una de las miles de millones de estrellas del firmamento fue difícil, porque sin duda alguna restaba importancia al hombre, que dejaba de vivir en el centro del universo para pasar a vivir preso, en una roca pequeña y alocada.

Pero no sería esa la única sorpresa. Aún quedaría una realmente desconcertante. A mediados del siglo XX Edwin Hubble observa con telescopios potentes la llamada hasta entonces “nebulosa de Andrómeda”, descubriendo que resultaba ser una galaxia con otros miles de millones de estrellas. Con el tiempo, el telescopio espacial que lleva su nombre descubriría decenas de miles de galaxias en el espacio exterior. En la actualidad se sabe que existen en el universo más de 100,000 millones de galaxias de las cuales la nuestra es solo una más.

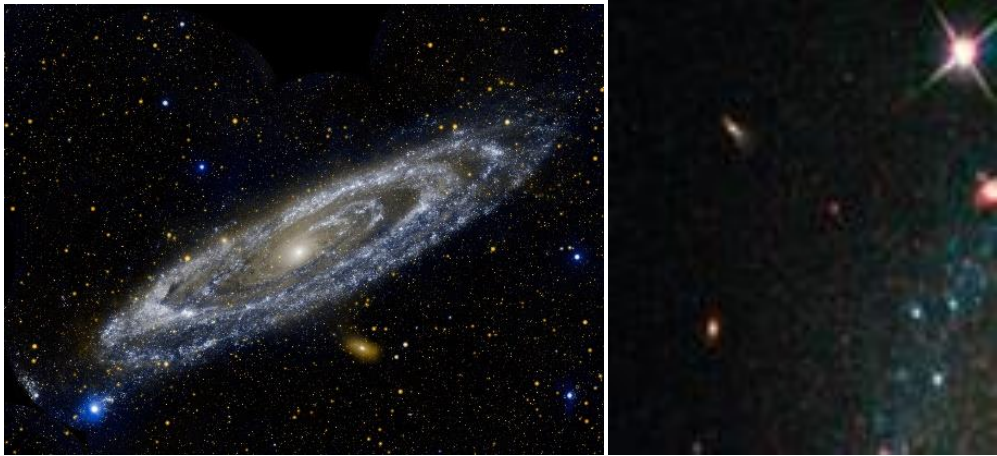


Figura 21: *Galaxia de Andrómeda.*

Cúmulo de galaxias (telescopio espacial Hubble)

¿Y cuál es nuestra galaxia? Seguro que sabes que se llama Vía Láctea pero ¿sabrías decirme algo más?

En efecto la vía láctea o “vía de leche” es ese camino de estrellas que se ve en el firmamento cuando salimos al campo en una noche despejada.



Figura 22: *Vía láctea. Nuestra galaxia.* Fuente Pixabay

El camino de estrellas (vía láctea) que se ve en el firmamento es justo la dirección del plano de nuestra galaxia. Debemos imaginarnos cómo se vería una galaxia si estamos dentro de ella. Sería el equivalente a ver una noria desde el centro. Veríamos las sillas a lo largo de una línea que cruza de arriba a abajo. Si miramos en cualquier otra dirección distinta al plano de la noria no veríamos las sillas.



Figura 23: Si vemos la noria desde el centro de la misma, la veríamos como una línea de sillas que nos rodean de arriba abajo en 360°. Pero al mirar en cualquier dirección distinta a la del plano de la noria, no veríamos ninguna silla.

Nuestro sol se encuentra más bien en la parte externa. De manera que, estando en una de las estrellas más exteriores de la galaxia, si miramos hacia el centro de la galaxia veríamos muchísimas estrellas, si miramos hacia fuera (pero en dirección del plano de la galaxia) veríamos menos estrellas. Si miramos en cualquier dirección que no sea la del plano de la galaxia veríamos solo las pocas estrellas que puede haber encima o debajo nuestra, debido al “pequeño grosor” de la galaxia.

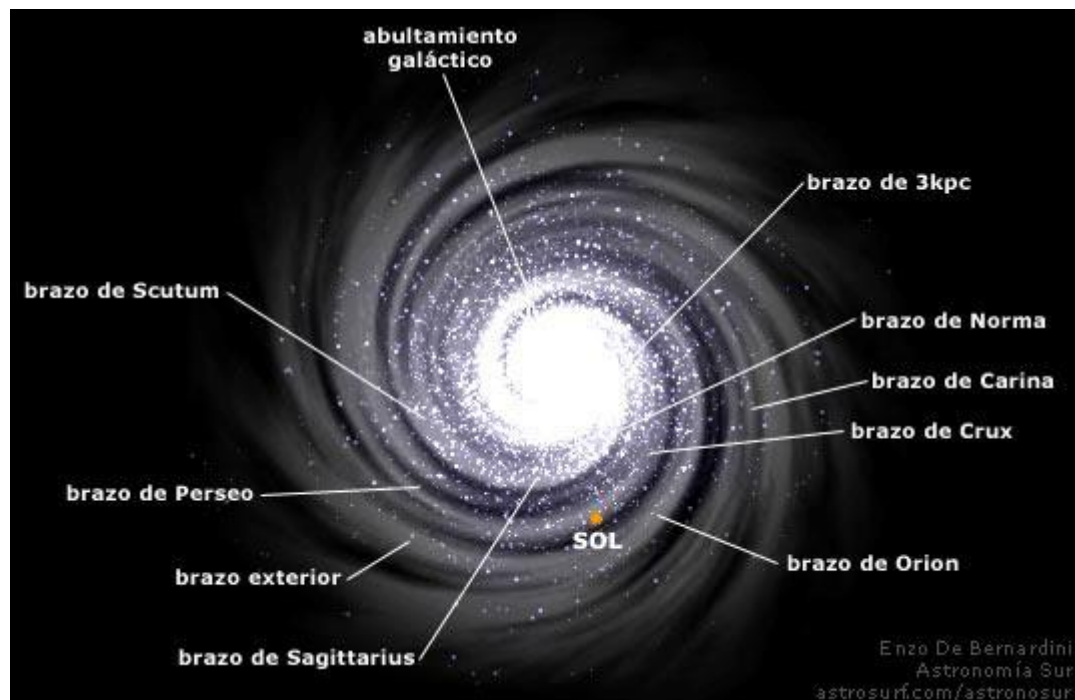


Figura 24. Fuente: Astrosurf.com

En efecto esto es lo que ocurre. Cuando vemos el cielo nocturno, todas las estrellas que vemos en el firmamento son vecinas nuestras que están también en la galaxia Vía Láctea. Mirando en el plano de la galaxia (camino de leche en el cielo) vemos muchísima densidad, especialmente cuando miramos hacia el centro de la galaxia (constelación de Sagitario). Siguiendo por el camino de leche del firmamento, si pudiéramos esperar seis meses a que la tierra se coloque en el lado opuesto de la órbita solar, veríamos que en el lado opuesto el camino se hace mucho menos brillante (vía láctea a la altura de la constelación de cochero). Por último si miramos en cualquier otra dirección distinta del camino de leche veremos que se ven también muchas estrellas pero mucho más dispersas que en el camino de leche (estamos mirando hacia fuera del plano de la galaxia).



Figura 25: Centro de la galaxia Vía Láctea (en la constelación de Sagitario). Visto desde la tierra durante la noche. Se puede observar como existe una gran concentración de estrellas.



Figura 26: Vía láctea a la altura de la constelación del cochero. Podemos ver como en este punto de la vía láctea hay menos concentración de estrellas.

PRACTICAR:

Descárgate la aplicación “STAR WALK” en Google Play o Apple store. La utilizaremos mucho a lo largo del curso y es totalmente recomendable. Podrás seguir todo el camino de la vía láctea y ver como la intensidad de luminosidad se hace mayor cuando miras al centro de la galaxia (entre Sagitario y Escorpio) y es mínima cuando miras al lado opuesto (constelación del cochero)



Figura 27: Vía láctea a la altura del cochero. Apenas brilla. Es la dirección del exterior de la galaxia (tomado de la App Star Walk)

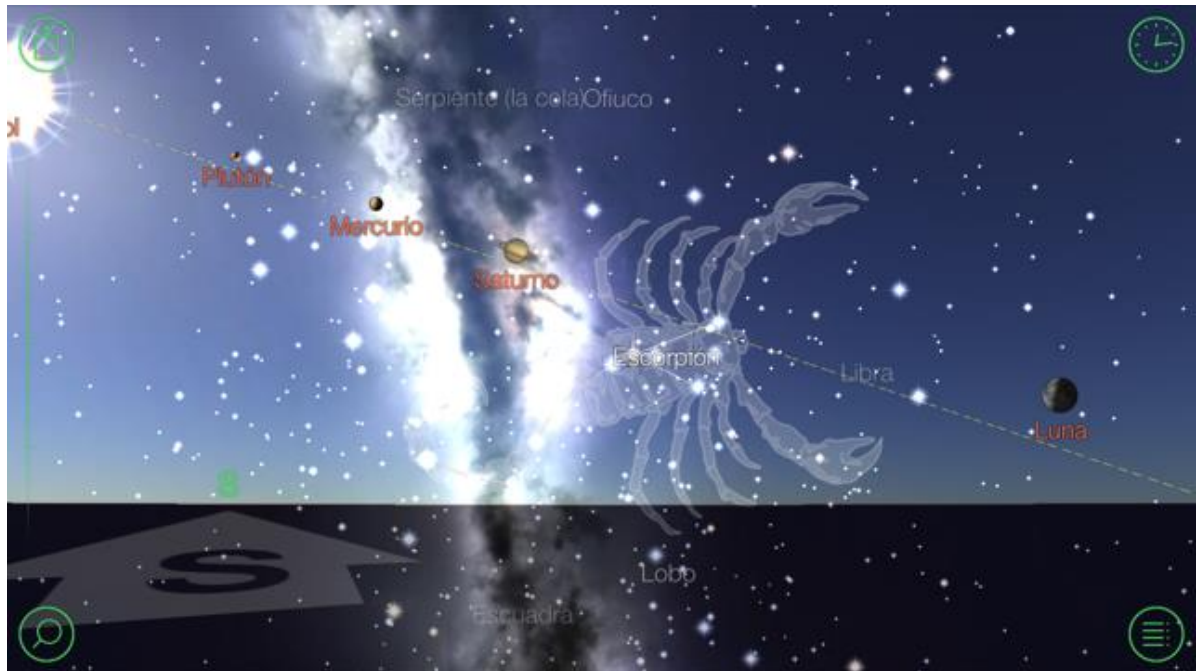


Figura 28: Vía láctea entre Escorpio y Sagitario. Es la parte más brillante y coincide con la dirección del centro de la galaxia.

Por último, para terminar el capítulo hagamos una reflexión sobre las dimensiones de la casa en la que habitamos, las dimensiones de este universo.

Para ello sirve de gran ayuda conocer el orden de magnitud de cada dimensión, especialmente saber en qué unidades se mide cada cosa:

Diámetro de planetas y satélites.....se mide en miles de Kilómetros

- Diámetro de La luna: 3,5 miles de Km
- Diámetro de La tierra: 13 miles de Km
- Diámetro de Jupiter: 150 miles de Km
- Distancia de la Luna a la Tierra: 384 miles de Km

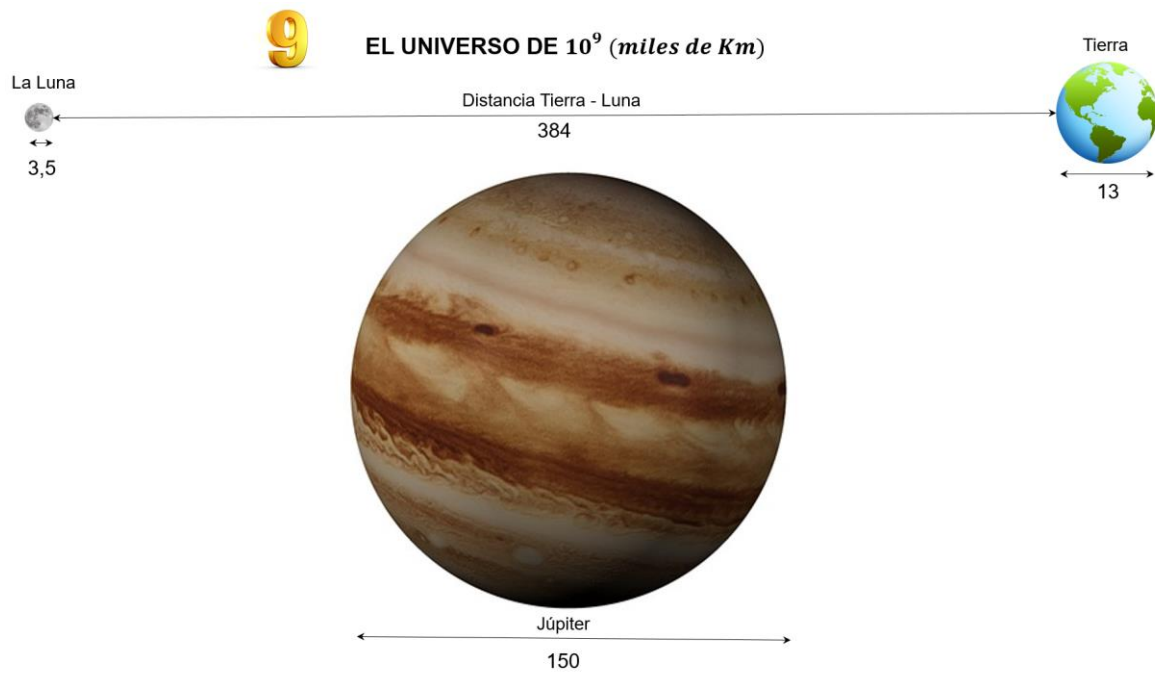


Figura 29

Diámetro de las estrellas y dimensiones del sistema solar....millones de Km

- Diámetro del Sol: 1,4 M de Km
- Distancia del Sol a la Tierra: 150 M de Km
- Diámetro de la estrella Betelguese: 1.500 M de Km



EL UNIVERSO DE 10^{12} (millones de Km)

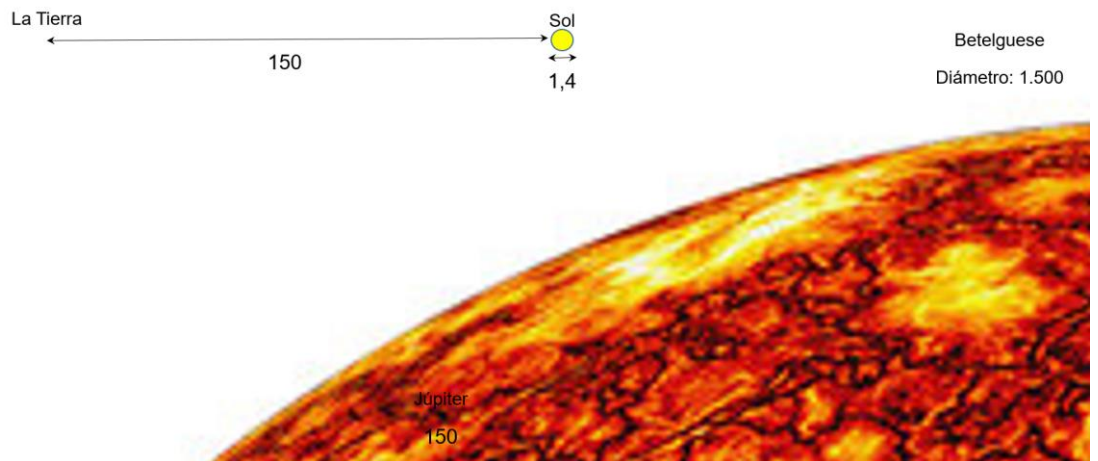


Figura 30

Distancia entre las estrellas.....años luz

- Alpha Centauri (la más cercana): 4 años luz
- Sirius: Está a 8 años luz
- Vega: a 25 años luz
- Betelguese: a 650 años luz

Un año luz equivale a 9,46 Billones de Kms (millones de millones)

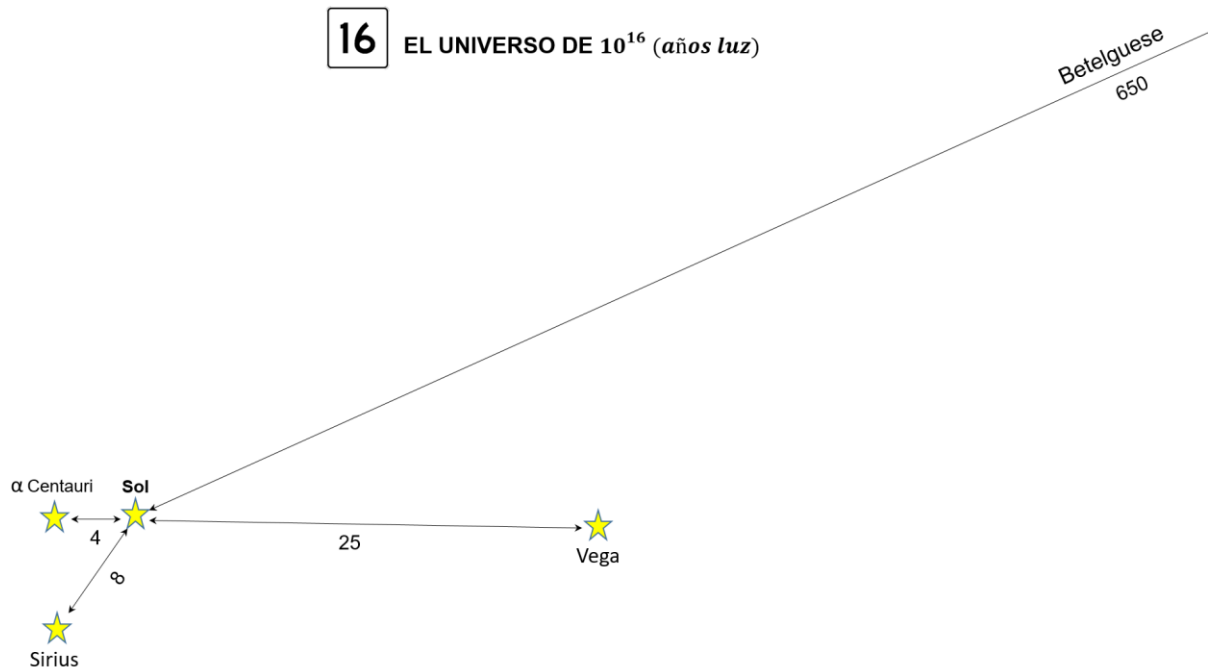


Figura 31

Dimensiones de las galaxias.....Miles de años luz

- Diámetro de la Vía Láctea: 100 mil años luz
- Grosor de la Vía Láctea: 2,5 mil años luz
- Diámetro de la galaxia Andrómeda: 220 mil años luz

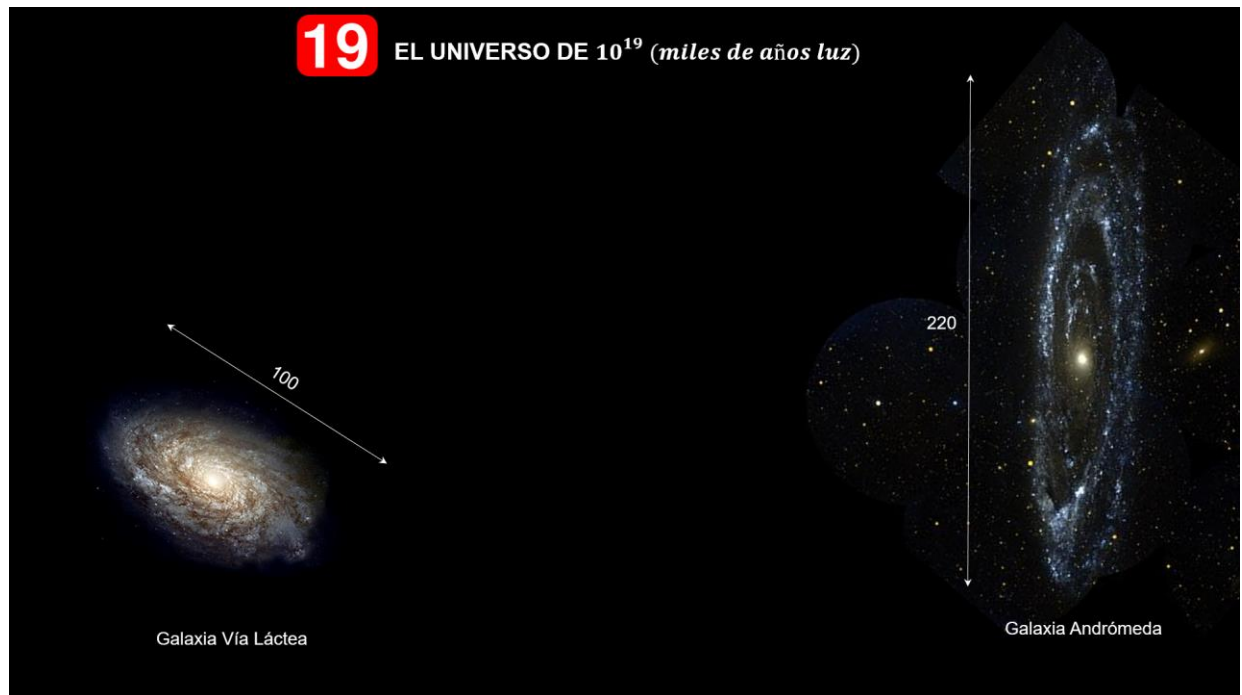


Figura 32

Distancia entre galaxias.....Millones de años luz

- Distancia de la galaxia Andrómeda: 2 Millones de años luz
- Distancia de los cúmulos de galaxias que está descubriendo el Hubble: 10,000 Millones de años luz



Figura 33

EJERCICIO:

¿Qué se ve más grande desde La Tierra? ¿El Sol, la Luna o la galaxia Andrómeda?

Para saberlo dividimos el diámetro entre la distancia, y el que tenga un ratio mayor se ve más grande.

Luna: $3,5/384 = 0,0091$ radianes

Sol: $1,4/150 = 0,0093$ radianes

Galaxia Andrómeda: $220.000/2.000.000 = 0,11$ radianes¹

El resultado es sorprendente en dos sentidos.

¹ Un radián equivale a 57,3 grados de arco

Por una parte ¡sorprende que el tamaño aparente de la luna y del sol sea casi idéntico! Esto ha dado lugar a ciertas reflexiones porque sin duda alguna es una coincidencia extraordinaria.

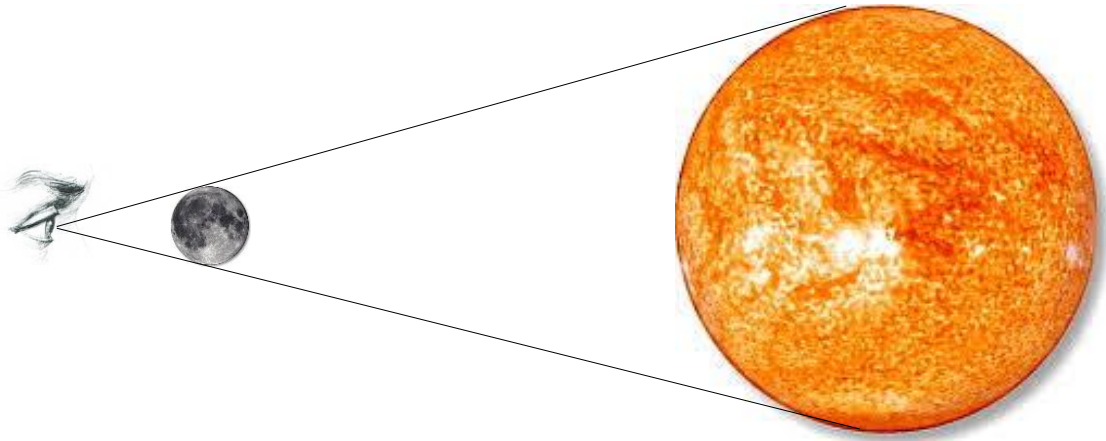


Figura 34: La luna y el sol se ven exactamente del mismo tamaño desde la Tierra porque, aunque el sol es mucho más grande, está mucho más lejos. Y resulta que la relación entre sus tamaños es igual a la relación entre sus distancias a nosotros.

Pero además se trata de una coincidencia con consecuencias de cierta importancia:

- En primer lugar la luna y el sol fueron considerados durante buena parte de la historia de la humanidad como astros divinos que gobernaban el día y la noche. Al sol se le dio carácter masculino y a la luna femenino. Ambos del mismo tamaño, con la misma forma circular, pero engalanados con distintos colores de luz.
- Pero sobre todo, un tamaño aparente casi idéntico provoca que los eclipses de sol sean absolutamente espectaculares y desconcertantes, porque ambos círculos coinciden casi como si encajaran. Y en algunas raras ocasiones se produce uno de los espectáculos más impresionantes de la naturaleza, el eclipse anular: la luna no llega a tapar totalmente el sol porque en ese momento el sol se encuentra un poco más cerca y/o la luna un poco más lejos y queda un anillo solar a su alrededor. El espectáculo estético es innegable y no tendría por qué darse. No hay ninguna razón.



Figura 35: Eclipse anular. Anillo de oro. Fuente Pixabay

Por otra parte, fijémonos en el ejercicio de nuevo. ¡La Galaxia Andrómeda debería verse tan grande como 11 soles en fila! ¿Cómo es que no la vemos?

En efecto la vemos, pero su brillo es demasiado pálido debido a la distancia (2 Millones de años luz). Hasta hace poco se consideraba una nebulosa, algo que llamaba la atención pero que no se sabía qué era. Hoy sabemos que es una galaxia y muchos son capaces de verla a simple vista en el cielo estrellado. Si brillara un poco más se vería así de grande:



Figura 36: La galaxia Andrómeda y la luna al tamaño al que se ven desde la Tierra, sin telescopio. Una pena que el brillo de Andrómeda sea tan tenue y apenas se vea

Sobrecoge pensar la cantidad de cosas que están ahí fuera y que no vemos, o no nos fijamos... Pero sobre todo es increíble que un objeto que está a 2 Millones de años luz se vea tan grande. O que un objeto que mide 220,000 años luz se vea tan pequeño...

La primera referencia a la galaxia Andrómeda es del siglo X , recogida en el "Libro de las estrellas fijas" por un astrónomo musulmán², describiéndola como una pequeña nube en la constelación de Andrómeda. Messier la observó por el telescopio en 1764 e hizo este dibujo.

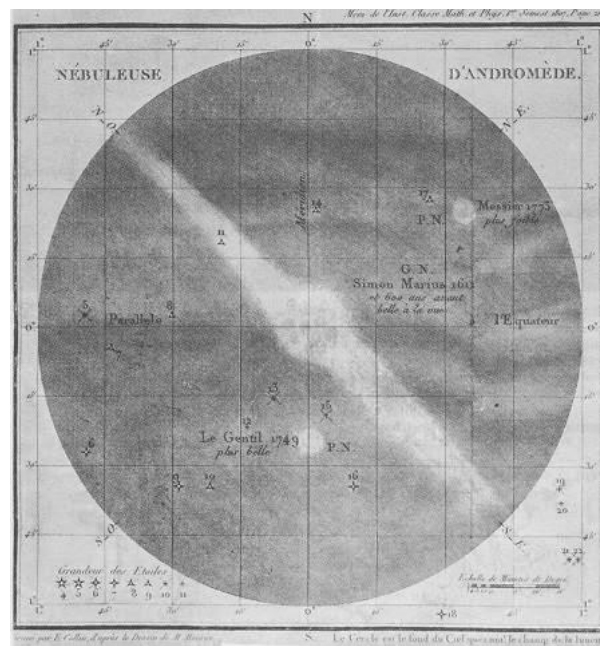


Figura 37: Dibujo de Messier. Nebulosa de Andrómeda. Se perciben también dos galaxias enanas satélites de ésta.

EJERCICIO:

¿Cuántas estrellas puede haber en nuestra galaxia aproximadamente (Vía Láctea)?

² Al Sufi. Irán. Siglo X

La estrella más cercana a nuestro sol es Alfa Centauri y se encuentra a 4 años luz de nosotros. Imaginemos, para simplificar, que toda la galaxia tiene esa misma densidad de estrellas, de manera que todas las estrellas se encuentran a 4 años luz las unas de las otras. Habría que imaginar cubos de 4 años luz de lado con estrellas en el centro. ¿Cuántos cubos caben en una galaxia que fuera cilíndrica con 100,000 años luz de diámetro y 2,500 años luz de grosor?

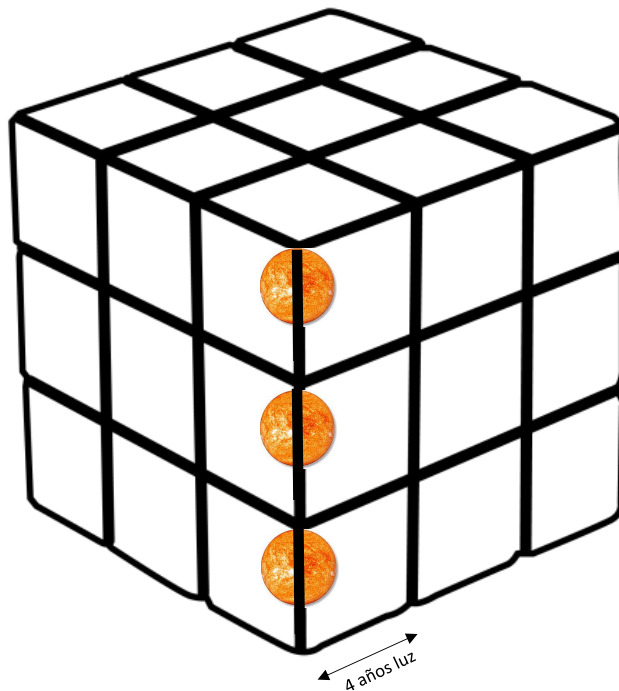


Figura 38

Cada cubo “uniestelar” ocuparía un volumen de

$$4 \times 4 \times 4 = 64 \text{ años luz}^3$$

El volumen de la galaxia sería

$$\begin{aligned} Vol \text{ Galaxia} &= \pi \times R^2 \times \text{grosor} = 3,14 \times 50.000^2 \times 2.500 \\ &= 19,5 \text{ billones de años luz}^3 \end{aligned}$$

Dividiendo el Vol Galaxia por el Volumen de cada “cubo uni estelar”, obtenemos que habría un total de 300,000 millones de cubos, es decir, 300,000 millones de estrellas en nuestra galaxia, que coincide con los cálculos que los astrónomos hacen.

RECORDAR:

Hay 100,000 Millones de galaxias en el universo

Hay 300,000 Millones de estrellas en nuestra galaxia

Las dimensiones básicas de nuestro universo son:

- El diámetro de planetas y satélites se mide en miles de Kilómetros
- El diámetro de las estrellas y dimensiones del sistema solar se mide en millones de Km
- La distancia entre las estrellas se mide en años luz
- Las dimensiones de las galaxias se miden en miles de años luz
- Las distancias entre galaxias se miden en millones de años luz