

## CHARLA

# ESTÉTICA DE LAS MATEMÁTICAS Y LA FÍSICA<sup>1</sup>

(Rev GPU 2019; 15; 1: 112-119)

Hernán Riadi Abusleme<sup>2</sup>

Y fue entonces que toda las cosas así creadas,  
recibieron sus formas del Gran Ordenador,  
gracias a la acción de las Ideas y de los Números.

PLATÓN, *Timaeus*

## INTRODUCCIÓN

Para encuadrar este vasto tema en una cortísima presentación he escogido referirme a él centrado en algunos fenómenos astronómicos poco conocidos pero de interés general, como son los “misterios” del movimiento de los cuerpos celestes, muy especialmente la propia Tierra y la Luna. Pero previamente he considerado importante referirme a algunos conceptos básicos con el propósito de homogenizar su significado y así generar aquí una comunidad de códigos.

Esta elección se funda en que como ninguna otra disciplina, la Astronomía tiene como lenguaje la Filosofía, la Matemática, incluyendo primordialmente la Geometría y la Física.

Hoy más que nunca en nuestro país, que, por sus condiciones especialmente favorables a la observación del firmamento, es potencialmente la sede mundial de la mayor parte de la observación astronómica.

Pero más allá de lo anecdótico e importante que ese hecho significa, el aumento exponencial de la población del planeta nos está impulsando en la búsqueda de otros lugares capaces de albergar a nuestra especie.

## EL LENGUAJE

Todos sabemos que el lenguaje cumple una función social; es la condición básica del hombre gregario. Con el lenguaje se aprende, se enseña, se miente, se elaboran hipótesis, nos engañamos o decimos la verdad. Me refiero aquí a todo tipo de lenguaje: al del arte, de la ciencia, de la teología, de la filosofía, al lenguaje vulgar incluyendo desde el del amor hasta el de la violencia en todas sus formas, pues todas ellas son formas de comunicación, unas racionales y otras no.

Por eso se hace necesario separar el lenguaje culto, que es el que permite preferentemente la colaboración productiva y racional del lenguaje vulgar que conduce de preferencia a expresiones emocionales. Por supuesto toda forma discursiva tiene componentes emotivos y racionales, pero toda comunicación tiene un objetivo preferente, y esta es la función calificadora del discurso.

Al relacionarnos con otro ser humano debemos escoger si nuestra actitud será de confrontación o de cooperación. Surge entonces la necesidad de definir lo que entenderemos por discusión. En el lenguaje vulgar, discutir, en nuestro medio, suele ser sinónimo de conflicto.

<sup>1</sup> Transversalidad del Pensamiento. Charla Dictada en la FAU, Universidad de Chile, el 17.10.2018.

<sup>2</sup> Arquitecto. Profesor Adjunto, Dpto. de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile.

En el lenguaje culto, en cambio, de la discusión suele nacer la luz. La discusión culta se da con argumentos basados en reconocida evidencia en tanto que la discusión vulgar se da con base en sentimientos o creencias que no siempre traen como resultado la concordia.

El discurso emotivo no requiere conocimientos profundos en nada, ni siquiera en la precisión del lenguaje, pues muchas veces los sentimientos que deseamos mostrar se apoyan en gestos y ademanes más que en palabras. En cambio el lenguaje culto requiere precisión y coherencia lógica basada en evidencias, pero sobre todo el vocabulario empleado debe compartir significados. Esta, que es *conditio sine qua non* en toda comunicación efectiva, no se cumple en todas las actividades de nuestra vida.

## EL MOVIMIENTO

A nuestro alrededor todo es movimiento. ¿Cómo entender el movimiento de un objeto más allá de solo contemplarlo? El movimiento en sí, separado de la masa, no existe. El fenómeno que observamos es el de un cuerpo o masa en movimiento. Sin embargo nuestro cerebro tiene la facultad de separar los componentes de cada fenómeno y aislarlos mentalmente para comprenderlos mejor. Es de ese modo que creamos las abstracciones, es decir, arrancamos a la realidad compleja e inaprehensible, alguna de sus características principales sin alterar su esencia.

Son las abstracciones. Detenemos el tiempo y descomponemos el fenómeno movimiento de un cuerpo en sus partes: masa, espacio y tiempo y estudiamos cada uno de ellos por separado, por medio de uno o más modelos simples del fenómeno. Algo así como una caricatura de una persona, pero cuyo objetivo no es la simple diversión sino la búsqueda del conocimiento, que algunos llaman, también, búsqueda de la verdad.

Este procedimiento, que hace parte del Método Científico es lo que llamamos Análisis; en filosofía se conoce como reduccionismo científico.

## EL ESPACIO

Si alguien pregunta dónde se encuentra un objeto cualquiera, siempre respondemos relacionando su ubicación a la posición supuestamente conocida de otro objeto, porque el espacio es relativo.

1. P: ¿Dónde está la capital de Chile?
2. R: A 140 [Km] al sureste de Valparaíso.

En este caso la referencia es válida solamente para quienes conocen Valparaíso y los puntos cardinales. Respuesta más precisa sería utilizar un sistema de referencia cartesiano aplicado al planeta Tierra, como el Global Positioning System (GPS): 36°26'S; 70°40'W. Para entender cómo aprovechar esa tecnología se hace necesario saber que el sistema cartesiano divide el planeta en paralelos y meridianos.

Existen cinco paralelos principales que corresponden con el ángulo de incidencia de los rayos solares sobre la superficie de la Tierra en su órbita alrededor del Sol. Como veremos, estos ángulos son determinados por la oblicuidad de la eclíptica (aprox. 23° 27').

- Círculo polar ártico (latitud 66° 32' 30" N = 90° - 23° 27'). Es el paralelo más al norte en el cual tienen lugar la noche polar y el sol de medianoche en el hemisferio norte. Estos eventos ocurren en los solsticios de invierno (diciembre) y verano (junio) respectivamente.
- Trópico de Cáncer (latitud 23° 27' 30" N). Es el paralelo más al norte en el cual el Sol alcanza el cenit. Esto ocurre en el solsticio de junio.



Figura 1. Muestra la inclinación de 23,5° del plano ecuatorial con el plano de la Eclíptica.

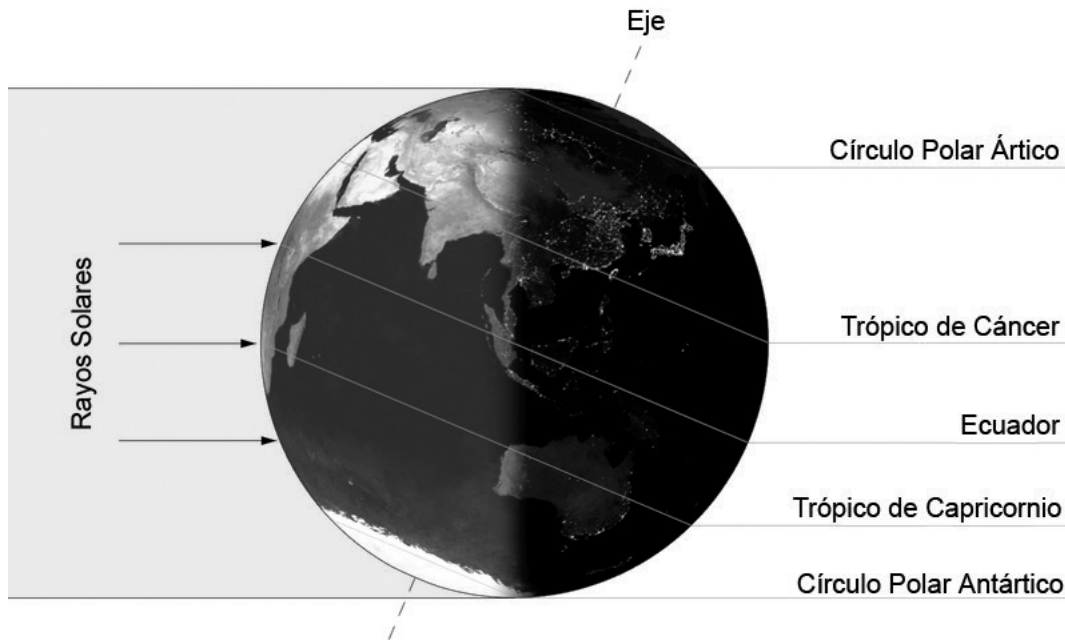


Figura 2. En esta posición el hemisferio norte está en el solsticio de invierno y el hemisferio sur en el solsticio de verano.

- Ecuador (latitud  $0^\circ$ ). En el Ecuador el Sol culmina en el cenit en el equinoccio de primavera y de otoño.
- Trópico de Capricornio (latitud  $23^\circ 27' S$ ). Es el paralelo más al sur en el cual el Sol alcanza el cenit. Esto ocurre en el solsticio de diciembre.
- Círculo polar antártico (latitud  $66^\circ 33' S$ ). Es el paralelo más al sur en el cual tienen lugar la noche polar y el sol de medianoche en el hemisferio Sur. Estos eventos, en el círculo polar antártico, ocurren en los solsticios de invierno (junio) y verano (diciembre) respectivamente.

La Figura 2 muestra el globo terráqueo iluminado por los rayos paralelos que nos llegan desde el sol, tangentes a la esfera en dos puntos: uno antes de alcanzar el polo norte y el otro más allá del polo sur, marcando claramente el hemisferio diurno del nocturno. La Tierra gira día a día (rotación) con su eje inclinado en un ángulo de  $\pm 23,5^\circ$  con respecto a una perpendicular al plano de traslación (eclíptica). En esta posición, cual trompo que gira inclinado respecto del piso, la Tierra hace su recorrido a lo largo del año. Debido a esa inclinación se producen las cuatro estaciones del año.

Los paralelos nos permiten determinar la latitud de un punto, es decir, su posición al norte o al sur del Ecuador, que corresponde a  $0^\circ$ , paralelo elegido como de

referencia. Por lo tanto, la latitud de un punto puede definirse como el “arco de meridiano, medido en grados, entre el lugar considerado y el Ecuador, o bien, como la distancia entre el paralelo de un lugar y el Ecuador, tomado como origen”.

El sismo del 27 de febrero de 2010 provocó una pequeña alteración en el eje de la Tierra, como se puede apreciar en la figura 3.

## EL TIEMPO

Los meridianos son semicírculos imaginarios perpendiculares al Ecuador que van desde el Polo Norte al Polo Sur. Cada meridiano, con su respectivo antimeridiano, forma un círculo. El meridiano de referencia es el meridiano  $0^\circ$ , o de Greenwich; su antimeridiano es el  $180^\circ$ . Ambos meridianos forman un círculo que divide a la Tierra en *hemisferio occidental* y *hemisferio oriental*. Los meridianos están numerados desde el  $0^\circ$  al  $180^\circ$ , hacia el este y hacia el oeste, completando  $360^\circ$  en total.

Para facilitar la división internacional de la hora se ha dividido a la Tierra en 24 franjas de 1 hora, o sea, de  $15^\circ$  de longitud, limitadas por los meridianos correspondientes. Estas franjas toman el nombre de “husos horarios”, por la forma de huso que presentan sobre la superficie esférica de la Tierra. El primer huso es el que contiene el meridiano de Greenwich.

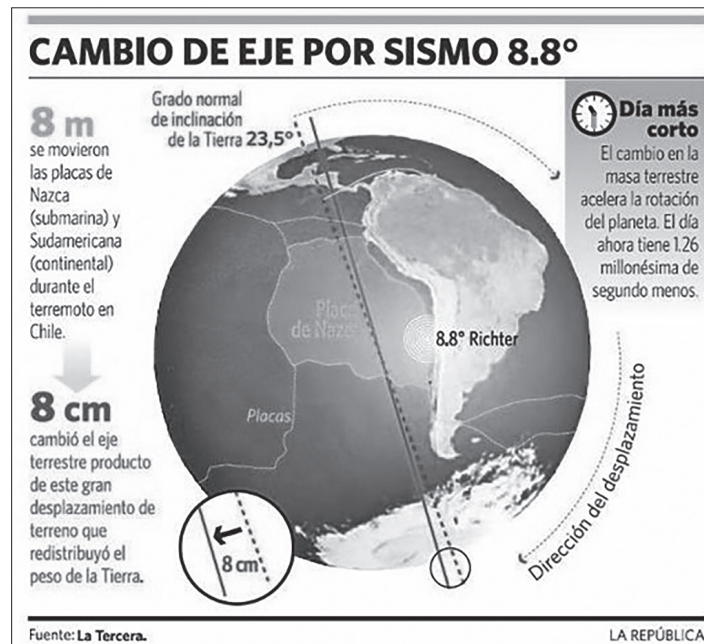


Figura 3. Alteración en el eje de la Tierra.

Por acuerdo tomado en una conferencia internacional celebrada en 1884 en Washington el “meridiano de referencia”, a partir del cual se miden las longitudes, es el meridiano de Greenwich, llamado así porque pasa por el antiguo observatorio de Greenwich. La elección se hizo no solo porque Londres fuera la capital del imperio más importante de la época, sino porque el meridiano 180, que determina el cambio de día, está en una zona muy poco habitada.

Ese Sistema de Referencia Fijo, al que se refería Einstein, inspirado en Aristóteles y Descartes, es el que definió en la esfera terrestre sus paralelos y meridianos. El origen del Sistema de Coordenadas se convino en la intersección del paralelo llamado Ecuador y del Meridiano de Greenwich. Es este Sistema de Referencia Fijo y Convencional el que nos permite responder a la pregunta ¿dónde estamos?

El *meridiano del lugar*, también llamado *meridiano local* o simplemente *meridiano*, es aquel que pasa por el punto en el que se sitúa el observador. El término “meridiano” viene del latín *meridies*, que significa “mediodía”. El meridiano de Greenwich sirve además para conocer la longitud de un punto cualquiera sobre la superficie terrestre, es decir, la distancia que existe entre un punto cualquiera y el meridiano de Greenwich. De esta manera se tiene longitud este si se mueve hacia la derecha y longitud oeste si se desplaza hacia la izquierda.

Puesto que la Tierra gira de oeste a este, al pasar de un huso horario a otro en dirección este hay que sumar una hora. Por el contrario, al pasar de este a oeste hay que restar una hora. El meridiano de 180°, conocido como línea internacional de cambio de fecha, marca el cambio de día.

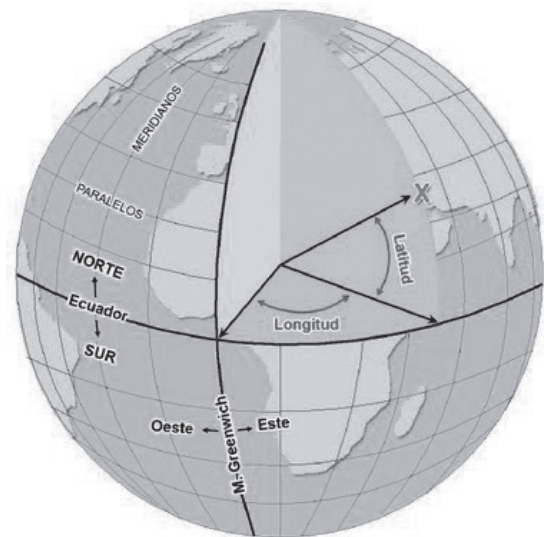


Figura 4. La figura muestra el arco o ángulo, con vértice en el centro de la Tierra, que dan origen a la latitud y longitud.

Para saber la hora solar de un lugar debemos conocer la distancia en grados entre el meridiano de Greenwich y el lugar. En el caso de nuestra capital, la longitud nos dará la respuesta:  $70^{\circ}39'W$ , coordenada que dividida por  $15^{\circ}$  es 4,71[hrs]. Es decir, la hora de Santiago sería la hora de Greenwich menos 4[hrs] 42 [min] y 36[seg].

Digo hora solar, porque también tenemos la hora oficial que adopta cada país, con base en la hora solar, pero que adopta según su conveniencia, dado que la hora solar es diferente para cada meridiano que cruza el territorio de la República. La distancia geográfica entre meridianos es variable desde 0 en los polos, hasta aproximadamente 111,11[Km] en el Ecuador, en función de la latitud del lugar.

## UNIENDO ESPACIO Y TIEMPO

Si la distancia entre meridianos nos permite conocer la diferencia de tiempo y espacio entre un lugar y otro de la superficie terrestre, la diferencia entre paralelos nos permite conocer la distancia entre ellos.

Con el auxilio de la trigonometría (*tri* = tres; *gonos* = ángulo; *metron* = medida), podemos calcular distancias entre objetos que se encuentren a distancias inaccesibles, como la altura de una montaña, el radio de la Tierra, la distancia entre planetas y estrellas, etc.

Los antiguos navegantes europeos aprendieron de los árabes, que hasta el siglo XV dominaban los océanos y mares incluyendo el Mediterráneo, las técnicas más avanzadas de la navegación y las perfeccionaron a partir de entonces gracias al Sistema Decimal, también introducido en Europa durante la conquista de España desde el siglo VIII.

Desde comienzos del siglo VIII de nuestra era, hasta el siglo XV, duró el proceso de asimilación, en Europa, del Sistema Decimal, que desde España se extendió al resto de Europa.

## ESPACIO-TIEMPO-MASA

Pienso que tiempo, espacio y masa son abstracciones propias de la estructura de la mente humana que es incapaz de aprehender la realidad dinámica y unitaria del universo y, para comprenderla, la descomponemos en partes estáticas en un análisis que ha mostrado su potencial en la filosofía, en las matemáticas, en la ciencia, etc.

Lo que llamamos pasado no sería más que una forma de referirnos a nuestra memoria, la que yace concretamente en las conexiones neuronales de nuestro cerebro capaz de grabar o recordar; el presente es una forma de referirnos a nuestra dimensión emocional, a nuestros sentimientos aquí y ahora. El futuro sería una

forma de referirnos a nuestra capacidad racional de comparar dos o más hechos extraídos de nuestra memoria y conjeturar la o las consecuencias, tanto cualitativa como cuantitativamente en un eventual futuro. De estas facultades mentales, memoria, emociones y razón, nace el principio racional de causalidad. Y aquí entramos en el terreno de la Psicología, sin ignorar lo que pueda corresponder a otras parcelas del conocimiento.

## EJEMPLOS DE APLICACIÓN

Calculemos la distancia entre dos puntos de la superficie terrestre conocidas sus coordenadas GPS. Por ejemplo, entre Santiago  $33^{\circ}27'S$ ,  $70^{\circ}39'W$  y Lima  $12^{\circ}05'S$ ,  $77^{\circ}04'W$ .

- 1° Cálculo de la distancia entre paralelos de ambas ciudades a lo largo de un meridiano:  $33^{\circ}27'S$  menos  $12^{\circ}05'S = 21^{\circ}22' = 21,37^{\circ}$ . Y en [Km]  $40.000/360 \times 21,37 = 2.375$ [Km] distancia norte-sur.
- 2° Cálculo de la distancia entre meridianos de ambas ciudades: RS (Radio de Santiago) =  $6400 \times \cos 33^{\circ}27' = 5.340,6$ [Km]. LS (Longitud de Santiago) =  $(77,07 - 70,65) = 6,42^{\circ}$ .  $6,42 \times 5.340 \times 2p/360 = 598,1$ [Km] distancia este-oeste.
- 3° La respuesta final la da el teorema de Pitágoras: Raíz cuadrada de  $(598,1^2 + 2.375^2)$  y la distancia Lima-Santiago es de 2.450[Km].

La trigonometría es la disciplina que nos permite medir los ángulos interiores de un triángulo si conocemos la longitud de sus lados. Y la geometría de Euclides nos enseñó que los ángulos alternos internos entre paralelas cortadas por una transversal son iguales.

De esos conocimientos se valió Eratóstenes de Cirene (275 a.C. – 194 a.C.) en 240 a.C. para calcular la circunferencia de la Tierra. Él sabía que en el solsticio de verano al mediodía local el Sol se hallaba directamente por encima de la ciudad de Siena (en el cenit). Ese día, a esa hora, los rayos solares penetraban hasta el fondo de un pozo sin hacer sombra. En la ciudad de Alejandría, a 800 [Km] de distancia, ese mismo día y a esa misma hora, un obelisco de 5 m de altura arrojaba una sombra de 63 [cm] o 0,63 [m] medidos desde la base hasta el extremo de la sombra.

Por trigonometría  $\arctan(0.63/5) = 7,2^{\circ}$ . Luego con una regla de 3, razonó: "si  $7,2^{\circ}$  significan una distancia de 800 [Km],  $360^{\circ}$  significarán  $360/7,2 = 50$  veces  $800$  [Km] = 40.000 [Km]."

Hoy esa circunferencia medida por satélites es de 40.067 [Km].



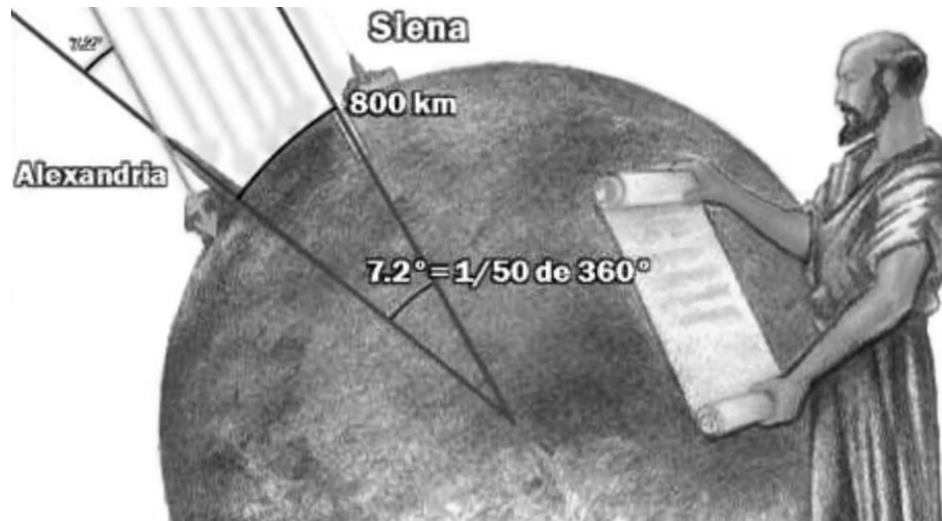


Figura 5. Análisis que pudo haber utilizado Eratóstenes para calcular la circunferencia de la Tierra.

### DISTANCIA TIERRA-LUNA

Como la Luna pasaba por delante del Sol cada vez que había un eclipse, era fácil para los griegos deducir que la Luna se encontraba más cerca de la Tierra que el Sol.

El primero en calcular la distancia a la Luna fue el griego Aristarco de Samos (320-250 a. C.) que observó la curvatura que la sombra de la Tierra proyectaba sobre la Luna.

El método fue mejorado un siglo más tarde por Hiparco de Nicea (190-120 a. C.), otro griego. Él concluyó que la distancia entre la Luna y la Tierra era aproximadamente treinta veces el diámetro de esta. Según Eratóstenes el diámetro de la Tierra era de 12.800 kilómetros, así que la distancia de la Luna debía ser de 384.000 kilómetros, una cifra excelente, ya que la distancia media

entre la Luna en la Tierra es de 384.317,2 kilómetros. Hablamos de distancia media ya que la órbita de la Luna alrededor de la Tierra no es un círculo perfecto sino que se acerca (perigeo) y se aleja (apogeo).

Cuando ya los griegos conocieron la distancia a la Luna quedó claro que el cielo no se encontraba cerca de la esfera terrestre, ya que si el cuerpo más cercano, la Luna, estaba a más de 384.000 kilómetros, los demás planetas estaban mucho más lejos.

Aristarco se dio cuenta de que cuando la Luna estaba justamente en el primer cuarto, o también en el último, formaba un triángulo rectángulo con el Sol y la Tierra. Midió el ángulo que hacía la Luna con el Sol, y de esta forma pudo calcular el cociente entre las distancias a la Luna y el Sol gracias a la trigonometría. Una vez conocida la distancia a la Luna, podía calcular la distancia al Sol.

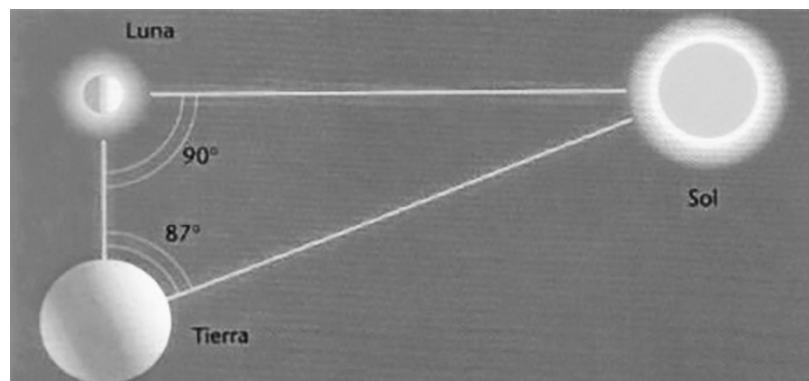


Figura 6. El cálculo de Aristarco del cociente entre las distancias a la luna y al sol.

## LOS SIGNOS ZODIACALES

La civilización sumeria (Mesopotamia) desarrolló las matemáticas utilizando un sistema de contar que tenía como base el número 60, a partir del cual nació el concepto de 360 grados para una circunferencia ( $60 \times 60$ ) y el sistema temporal actual. También ellos dividieron el día (media circunferencia) en "12 pasos" solares, que luego se convertirían en las 12 horas del día y las 12 horas de la noche.

Ellos creían que las estrellas estaban fijas a la esfera situada más allá de Saturno, de ahí que las llamasen "estrellas fijas" a las estrellas y "estrellas errantes" a los planetas. Fueron los primeros en definir las 12 constelaciones del zodiaco, que transitaban en 12 periodos que sumados conformaban un año solar. De ahí que el año fuera dividido en 12 meses y en cuatro estaciones de tres meses cada una.

Sin embargo los sacerdotes-astrónomos o astrólogos del Antiguo Egipto fueron los que transmitieron estos conocimientos y sus propias observaciones de la bóveda celeste a los griegos, quienes, a su vez, fueron fuente de conocimiento para los astrónomos y científicos de la Edad Media.

Los babilonios fueron de los primeros que se tiene registro sobre su estudio de los astros. Fueron ellos quienes cerca de siglo IV a.C. transmitieron su conocimiento a los griegos, y así es como Platón, Aristóteles y más, fueron capaces de estudiar a profundidad esta disciplina encontrando orden en el caos. Otros creen que el estudio de los signos del zodiaco comenzó con los egipcios, que lo llevaron a los babilonios y estos a los griegos.

Es probable que, con el descubrimiento de la agricultura, se haya dado inicio a la vida sedentaria, y la preocupación por la producción agrícola haya sugerido la necesidad de predecir la llegada de las estaciones del año para saber en qué momento sembrar o plantar. El sol y las estrellas tendrían la respuesta para el origen de las condiciones climáticas que permitirían las mejores opciones. De allí en adelante la observación y el estudio sistemático del cielo pasó a ser una constante en continuo desarrollo hasta hoy.

"Zodiaco" proviene de las palabras griegas *zoon* que significa animal y *kyklos* que significa rueda. Es una banda celeste de 18 grados de ancho centrada en la eclíptica. Esta banda no es fija, sino que se desplaza ligeramente con el tiempo (ciclo equinoccial o año platónico = 25.776 años) sobre el fondo del cielo. Esta banda se divide en 12 partes iguales llamadas «signos zodiacales», tomando como referencia el punto Aries, punto de intersección entre la eclíptica y el Ecuador celeste. De este modo, cada uno de los 12 signos comprende exactamente un arco de 30 grados de longitud eclíptica y dos bandas de 9 grados de latitud eclíptica. A su vez, estas doce constelaciones se asociaban a cuatro grupos, de acuerdo con los elementos naturales son los siguientes:

Fuego	Agua	Aire	Tierra
Aries	Cáncer	Libra	Capricornio
Sagitario	Escorpión	Acuario	Tauro
Leo	Piscis	Géminis	Virgo

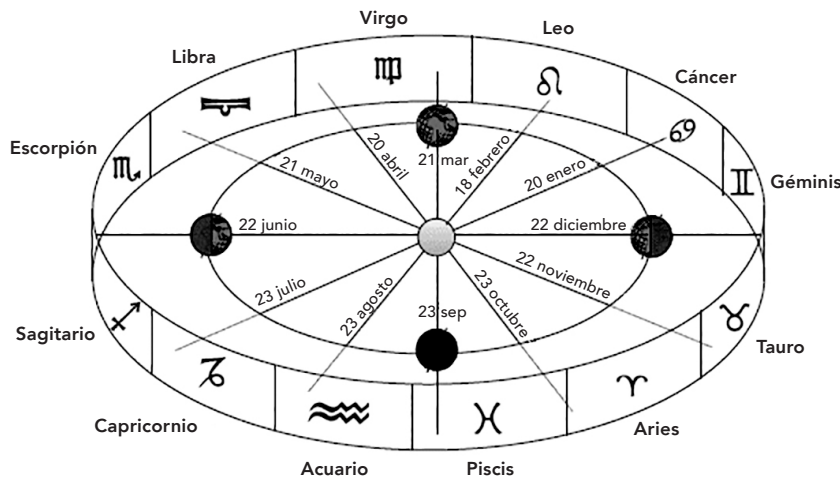


Figura 7. El Sol, visto desde la Tierra, se encuentra en Aries entre el 23 de octubre y el 22 de noviembre.

En astronomía se denomina punto Aries o punto vernal al punto de la eclíptica a partir del cual el Sol pasa del hemisferio sur celeste al hemisferio norte, lo que ocurre en el equinoccio de marzo iniciándose la primavera en el hemisferio norte y el otoño en el hemisferio sur. Aunque muchos continúan llamándolo punto Aries, el punto vernal hace más de 2.000 años se encuentra en Piscis.

Como cada signo zodiacal comprende un ángulo de  $30^\circ$  ( $360^\circ/12$ ), el año platónico de 25.776 años, se distribuye entre los 12 signos zodiacales cada 2.148 años ( $25.776/12$ ). Hace unos 4.400 años los egipcios celebraron el término de la era de Tauro y el inicio de la era de Aries; 2.150 años más tarde se iniciaba la era de Piscis, de la cual estaríamos por salir para ingresar en la era de Acuario.

Pero muchos siguen llamando al punto vernal punto Aries, a pesar de que hace unos 4.000 años que Aries dejó de ser el punto vernal o de equinoccio de primavera en el hemisferio norte y equinoccio de otoño en el hemisferio sur.

## RESUMEN Y CONCLUSIONES

Este cortísimo viaje que sintetiza más de 4.000 años de historia, desde los inicios de la Agricultura hasta el

descubrimiento del Nuevo Mundo para los europeos, nos da una rápida visión de algunas de las más bellas cumbres que el ser humano ha alcanzado, en su eterna persecución de la escurridiza verdad.

Esa verdad que, como el Espacio, la Masa y el Tiempo no está en el mundo exterior sino dentro de su mente creadora. El Universo existe aunque no podamos conocerlo realmente sino apenas percibirlo con nuestros cinco sentidos, intuirlo y reflexionarlo con nuestra experiencia y el esfuerzo por comprender aquello que parece estar fuera de nuestro alcance.

El Universo no tiene leyes y si las tuviera, no podríamos conocerlas. Si las leyes que la física atribuye al Universo fueran de verdad leyes universales, ellas no podrían alterarse. Las leyes no son del Universo, son del hombre que, gracias a sus facultades intelectuales, ha sido capaz de comprender la realidad creando Orden en el Caos.

## REFERENCIAS

1. Las figuras contenidas en este modesto trabajo son de sitios públicos de Wikipedia y Google
2. La historia del cálculo del radio de la Tierra, el cálculo de la distancia Tierra-Luna y la historia del zodiaco, es una amalgama de partes de una veintena de sitios de Google y Wikipedia