



## ¿CÓMO ES QUE SABEN LOS ASTRÓNOMOS LO QUE SABEN?

### COMO OS ASTRÔNOMOS SABEM O QUE SABEM?

### HOW DO ASTRONOMERS KNOW WHAT THEY KNOW?

Néstor Camino <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Complejo Plaza del Cielo, CONICET – FHCS UNPSJB, nestor.camino.esquel@gmail.com

**Resumen:** *Se presenta un breve recorrido sobre algunas de las formas en que a través de la historia se fue estimando el tamaño del entorno astronómico y a la vez construyendo conocimiento sobre los objetos y procesos presentes en el mismo. Se analiza en especial cuáles fueron los principales supuestos tomados como válidos en cada caso. Se discute finalmente sobre la naturaleza del conocimiento científico aceptado en cada época histórica, y se enfatiza la importancia para la Didáctica de la Astronomía de explicitar los supuestos dados por hecho en teorías y métodos de la Astronomía, en todas las épocas.*

**Palabras-clave:** construcción de conocimiento científico, dimensiones del entorno astronómico, supuestos teóricos, procedimientos, Didáctica de la Astronomía.

**Resumo:** *Apresenta-se uma breve visão geral de algumas das formas como ao longo da história foi estimado o tamanho do ambiente astronômico e ao mesmo tempo construindo conhecimento sobre os objetos e processos presentes nele. Analisa-se em particular quais foram os principais pressupostos tidos como válidos em cada caso. Por fim, discute-se a natureza do conhecimento científico aceito em cada período histórico e é enfatizada a importância para a Didática da Astronomia de explicar os pressupostos assumidos nas teorias e métodos da Astronomia, em todos os períodos.*

**Palavras-chave:** Construção do conhecimento científico, Dimensões do ambiente astronômico, pressupostos teóricos, Procedimentos, Didática da Astronomia.

**Abstract:** *A brief overview of some of the ways in which throughout history the size of the astronomical environment has been estimated and at the same time building knowledge about the objects and processes present in it is presented. It is analyzed in particular what were the main assumptions taken as valid in each case. Finally, the nature of scientific knowledge accepted in each historical period is discussed, and the importance for the Didactics of Astronomy of explaining the assumptions taken for granted in theories and methods of Astronomy, in all periods, is emphasized.*

**Keywords:** Construction of scientific knowledge, Dimensions of the astronomical environment, Theoretical assumptions, Procedures, Didactics of Astronomy.

## ¿QUÉ TIENE DE ESPECIAL LA ASTRONOMÍA?

La Astronomía es la disciplina que, anclada en una cierta posición en el espacio y en un cierto período de tiempo, busca construir conocimiento sobre el *Todo*, sin acceder a ello más que por lo que recibimos a través de los principales agentes físicos en el universo a gran escala: luz (en todas sus frecuencias), partículas y ondas gravitacionales.

A diferencia de otras disciplinas científicas del gran campo de las Ciencias Naturales, en los estudios de Astronomía no es posible manipular objetos, ni viajar a reconocerlos in situ o a tomar muestras para su posterior estudio, ni es posible controlar variables o modificar las condiciones iniciales de algún proceso, ni tampoco provocar situaciones experimentales ad hoc ni repetirlas luego a discreción (Dick, 2020; Ellis, 2006; Anderl, 2015).

Así las cosas, con esta tan restringida forma de trabajo, ¿cómo es posible medir cantidades de las distintas magnitudes en juego, describir la evolución en el tiempo astronómico de distintos procesos, afirmar la validez de ciertas explicaciones, es decir: construir conocimiento científico asociado al universo, en definitiva?

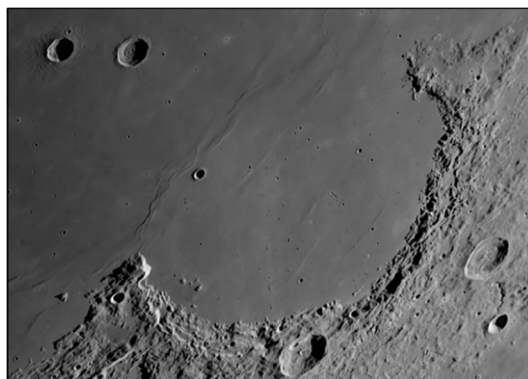
¿Cuáles son los fundamentos, qué supuestos damos por hecho, qué consideramos que es lo “universal” para luego afirmar que, aunque nunca estuvimos (ni estaremos) allí, sabemos algo sobre de qué se trata el Universo, desde el lugar y el instante en el que vivimos?

## ¿POR DÓNDE COMENZAR?

Quizás preguntándonos por lo más “obvio”: ¿Por qué razón damos por hecho que las cosas del mundo físico funcionan del mismo modo en mi casa que en la casa de un vecino? ¿En un laboratorio de Argentina que en uno en China? ¿Por qué razón asumimos que vale “lo nuevo sobre lo viejo” (Figura 1)? ¿Por qué el tiempo es así como es? ¿Por qué damos por hecho que “estar por detrás significa estar más lejos”?

Y quizás las respuestas más “obvias” están basadas en que el mundo ha funcionado siempre así, nunca vivimos algo distinto, en ninguna parte de las muchas que hemos explorado a través del tiempo.

¿Y entonces cómo hacemos para conocer y dar por hecho afirmaciones similares en aquellos lugares y tiempos a los cuales no podemos acceder? Deberemos tomar ciertas decisiones, asumir algunas afirmaciones como válidas y evaluar luego cómo funcionan en la realidad del universo bajo estudio.



**Figura 1:** Sinus Iridum. Antiguo cráter llenado por lava, sobre la que luego se forma un pequeño y nuevo cráter. **Fuente:** NASA.

## ¿CÓMO DIMENSIONAR EL UNIVERSO?

Los eclipses de Sol brindaron la posibilidad de afirmar que la Luna está más cerca de la Tierra que el Sol. Asimismo, los cinco planetas visibles a ojo desnudo: Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno, no sólo estaban también más lejos que la Luna, sino que además su movimiento indicaba sus distancias relativas (más lento, más lejos, y viceversa). Las estrellas eran consideradas otro tipo de entidades, ubicadas en el límite del universo.

Pero, ¿cómo estimar la relación de distancias entre el Sol, la Tierra y la Luna?

Una primera estimación fue a partir de estudiar la relación espacial entre los tres cuerpos durante fenómenos cotidianos conocidos.

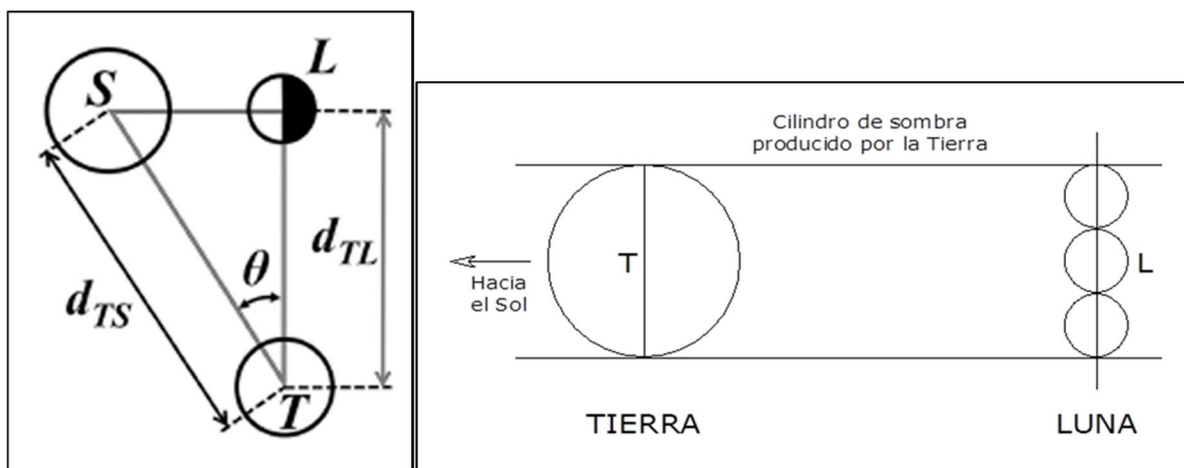
## LOS PRIMEROS INTENTOS POR DAR DIMENSIONES AL UNIVERSO

### Aristarco de Samos (siglo IV/III antes de Cristo)

Dado que nunca se mide algo en sí mismo, siempre se requiere de una comparación, del tipo que fuera, Aristarco requirió de vincular el Sol, la Luna y la Tierra, y medir tiempos y ángulos durante fases y eclipses, a ojo desnudo.

Aristarco consideraba que el Sol estaba mucho más lejos de la Tierra que la Luna, y la forma de estimar esta relación de distancias fue a partir de medir el ángulo que subtendía la visual a ambos cuerpos celestes durante la fase de Cuartos de la Luna (Figura 2 izq.).

Aristarco obtuvo un valor aproximado de  $\theta=87^\circ$ , lo que implicaba que el Sol estaba unas 20 veces más lejano de la Tierra que la Luna. Este valor es bastante más pequeño que el actual ( $\theta=89^\circ 51'$  y 389 veces), medido con la tecnología de más de veinte siglos después.



**Figura 2 izq.:** Esquema del sistema TSL en Cuartos.

**Figura 2 der.:** Relación de diámetros TL. **Fuentes:** Wikipedia y del Autor.

Más aún, esta conclusión también llevaba a que el Sol era mucho más grande que la Luna, debido a que ambos se ven bajo el mismo tamaño angular, comprobado en los eclipses totales de Sol. Las concepciones de la Época: esferas y circunferencias, relaciones euclídeas, propagación rectilínea de la luz, están presentes en los desarrollos de Aristarco y de quienes le sucedieron.



Por otra parte, y por estar el Sol a una enorme distancia, Aristarco considera que la sombra de la Tierra es un cilindro, al menos en la región en que la Luna lo cruza durante un eclipse lunar (Figura 2 der.). Era conocido además que la Luna se mueve en el cielo aproximadamente a razón de un diámetro por hora (movimiento propio). Además, durante los más largos eclipses totales de Luna se la ve totalmente sumergida en la sombra poco más de dos horas.

Aristarco asume que el diámetro  $L$  de la Luna es aproximadamente un tercio del correspondiente  $T$  de la Tierra. Tenemos entonces que  $L = 0,3 T$ . Si el diámetro angular de la Luna es de  $32'$ , aproximadamente, la distancia  $d$  a la Tierra equivale a 105 veces su diámetro. Así,  $d = 0,3 T \cdot 105 = 31,5 T$ ;  $d = 63$  radios terrestres. Hoy los valores aceptados son  $L = 0,27 T$  y  $d = 60$  radios terrestres, lo que muestra la excelente estimación de Aristarco hace casi 24 siglos.

### **Eratóstenes e Hiparco (siglos III y II antes de Cristo)**

Aristarco determina entonces los tamaños y distancias relativos del Sistema Tierra-Luna-Sol, aunque no en forma absoluta, sino dependiendo del radio terrestre.

Con los trabajos de Eratóstenes, hoy ya muy conocidos, se determina por primera vez el diámetro de la Tierra. Hiparco luego utiliza este dato, y repite lo hecho por Aristarco, llegando a determinar longitudes, ya no relaciones, para los tamaños y distancias del sistema que forman la Tierra, la Luna y el Sol, muy cercanas a los valores actuales.

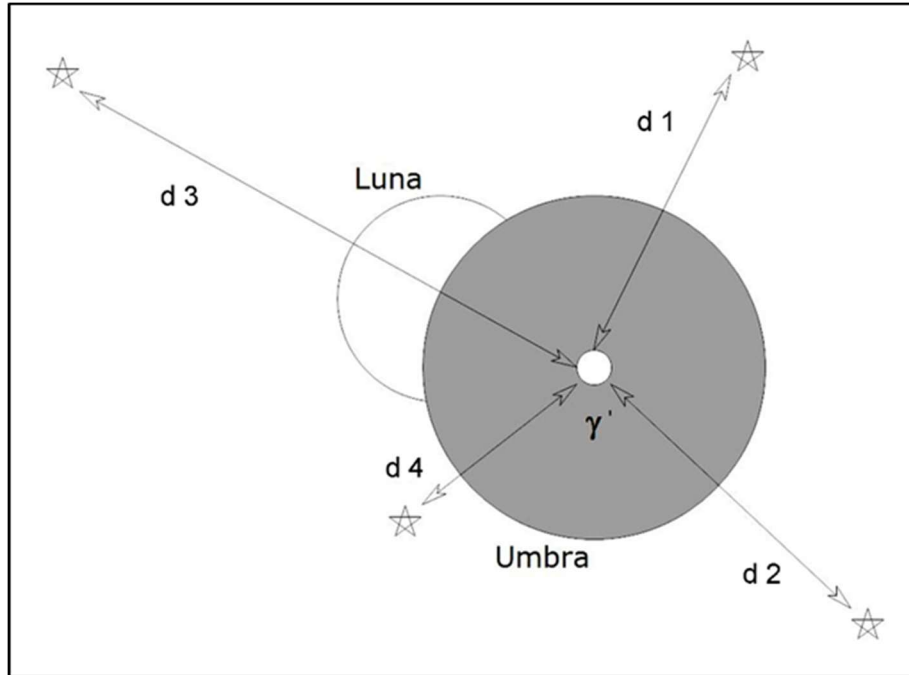
¿Cuántas decisiones tomaron Aristarco, Eratóstenes e Hiparco para lograr una estimación y luego una determinación indirecta de las dimensiones espaciales del sistema Tierra-Luna-Sol? ¿Cuáles de esas decisiones son hoy dadas por hecho, utilizadas sin mayor reflexión por todos nosotros, tanto en el trabajo científico como en las aulas de todos los niveles educativos?

### **HIPARCO Y LA PRECESIÓN DE LOS EQUINOCCIOS**

Los antiguos griegos utilizaban los eclipses totales de Luna que ocurrían en el equinoccio de marzo para fijar la posición del punto vernal  $\gamma$  (nodo ascendente). Supongamos que el eclipse ocurra cuando el Sol está exactamente en  $\gamma$ . El centro de la sombra de la Tierra sobre la Luna es entonces el punto opuesto de la eclíptica,  $\gamma'$  (nodo descendente), el "anti-Sol". (Figura 3)

Durante el eclipse, se mide directamente la distancia angular de  $\gamma'$  a las estrellas vecinas a la Luna eclipsada. De este modo se obtienen correctamente las longitudes ( $d$ ) de estas estrellas, a las cuales se refieren, progresivamente, todas las otras. Si el eclipse tenía lugar, como sucede generalmente, algunos días antes o después del pasaje del Sol por el punto  $\gamma$  era válido el mismo procedimiento pues se poseían entonces tablas de longitudes del Sol de una precisión suficiente para algunos días.

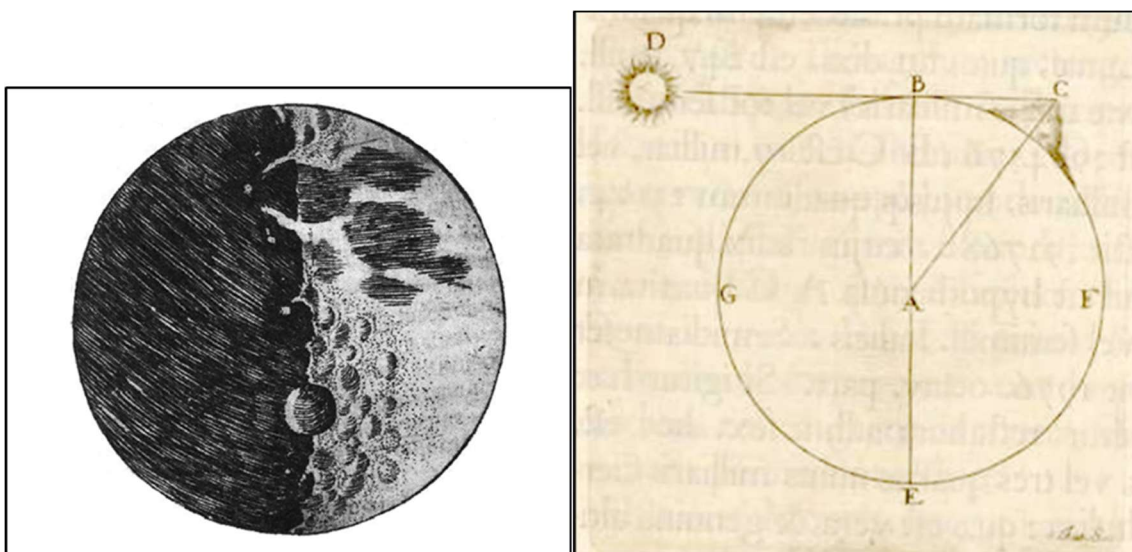
Comparando la longitud de Spica ( $\alpha$  Virgo) con el valor de una observación análoga que Timocaris había hecho 150 años antes, Hiparco, hacia el Siglo II antes de Cristo, descubrió la precesión de los equinoccios. La longitud de Spica había aumentado  $2^\circ$  en 150 años; así,  $\gamma$  recorre la eclíptica en aproximadamente 27.000 años.



**Figura 3:** Medición de longitudes de estrellas durante un eclipse de Luna.  
**Fuente:** del Autor

## LAS MONTAÑAS LUNARES DE GALILEO

Hacia 1609 Galileo comenzó a utilizar su telescopio para estudiar el cielo, en especial la Luna. Galileo concluyó que la Tierra era un cuerpo similar a la Luna al observar en ésta rugosidades, cráteres, valles y montañas, con efectos de luz y sombra similares a los que son propios de los relieves terrestres. En especial, observó durante ambos Cuartos que en la zona en oscuridad definida por el Terminador quedaban puntos de luz (*lucidae cúspides*), interpretando que los mismos correspondían a las cúspides de montañas iluminadas por el Sol (Figura 4).



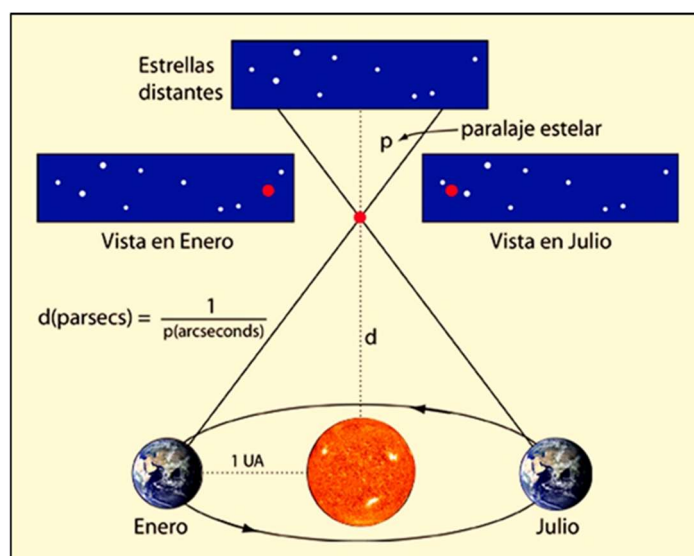
**Figura 4:** Dibujo de la Luna en Cuarto por Galileo en su *Sidereus Nuncius*, 1610 (izq.) y esquema realizado por Johannes Hevelius en 1636 (der.).  
**Fuente:** Wikimedia Commons.

Galileo, y luego Riccioli y Hevelius, estimaron la altura de las montañas en la Luna a partir de una sencilla relación de proporcionalidad, aplicada a la geometría de los Cuartos, asumiendo que la línea de visión es perpendicular al dibujo.

1. Se estima la relación BC con respecto al radio lunar AF, cuyo valor se conocía desde mucho antes de esta época.
2. Se conocen entonces dos lados de un triángulo rectángulo (AB y BC), pudiéndose hallar AC.
3. Se resta de AC el radio lunar, y se obtiene la altura de la montaña.

## DETERMINACIÓN DE LA UNIDAD ASTRONÓMICA

El efecto de la paralaje anual (paralaje estelar) (Figura 5), predicho por Copérnico a fines del siglo XVI, una experiencia crucial para el heliocentrismo, recién fue posible de utilizarse para determinar distancias a las estrellas con el desarrollo de los primeros grandes telescopios, hacia principios del siglo XIX.



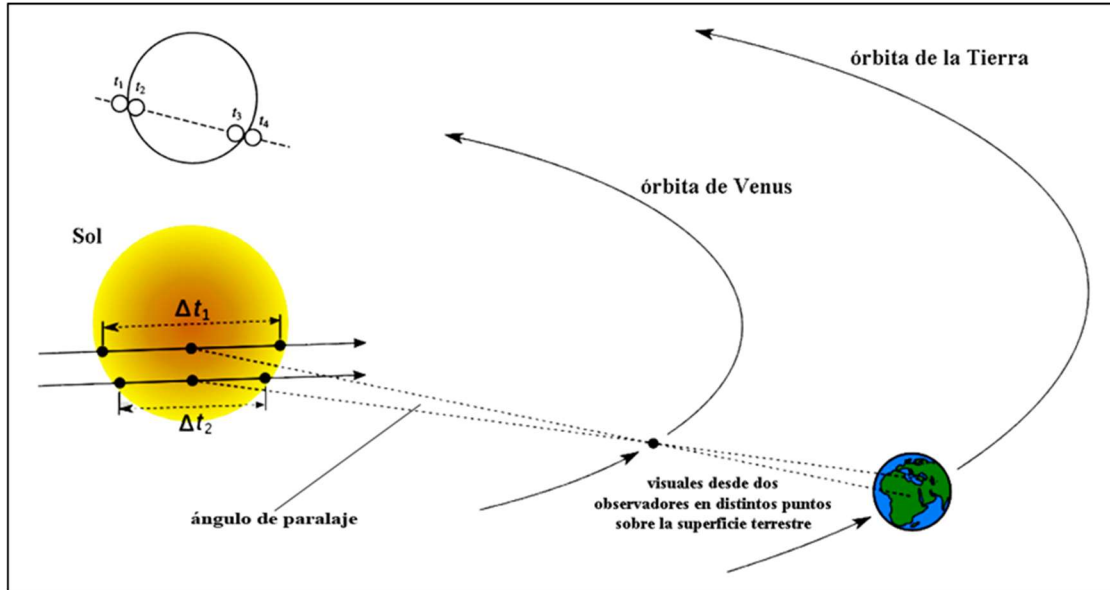
**Figura 5:** Esquema (no a escala) del efecto de la paralaje estelar.

**Fuente:** adaptado de Wikipedia.

La determinación de la paralaje solar se realizó a partir de la observación de los tránsitos de Venus por delante del disco solar, a partir del método propuesto por Edmund Halley hacia 1716, lo que brindaba en definitiva la distancia de la Tierra al Sol. Este valor era considerado como la llave para obtener “la medida del sistema del mundo” (Silva et al., 2020). (Figura 6).

El método requería vincular al Sol, la Tierra y en este caso a Venus, para obtener las dimensiones espaciales del sistema Tierra-Sol. La diferencia en los tiempos de contacto del disco oscuro de Venus contra el disco solar, visto desde distintos puntos sobre la superficie terrestre, cuyas distancias relativas son conocidas (lo que requiere conocer el diámetro terrestre), permite medir en forma indirecta la distancia Tierra-Sol. (Rizzuti et al., 2016)

La excepcionalidad de los tránsitos solares de Venus (dos cada poco más de un siglo) y las dificultades técnicas (telescopios y registros confiables), además de otras situaciones como la geografía y el clima, por ejemplo, hicieron que recién en 1771 el astrónomo francés Jerome Lalande utilizó los resultados de ambos tránsitos de su época y estimara la distancia Tierra-Sol en 153.000.000 km.



**Figura 6:** Variación en el tránsito de Venus según la posición sobre la Tierra.

**Fuente:** adaptada de Wikipedia

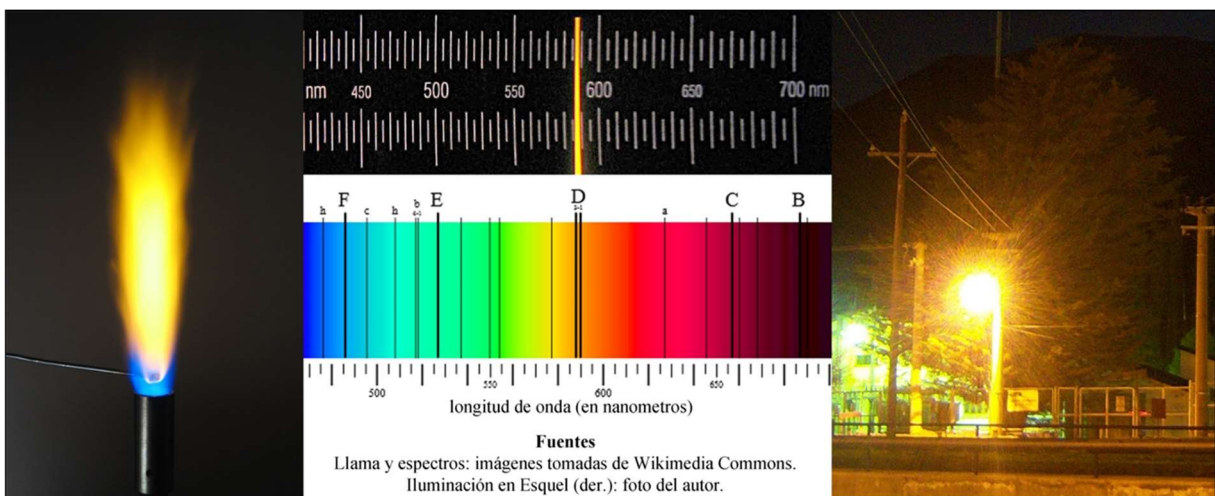
## LA MATERIA ES IDÉNTICA EN TODO EL UNIVERSO

¿Cómo podemos afirmar de qué están hechas las estrellas?

Si asumimos que los componentes de la materia son los mismos en todo el universo, y que además se comportan del mismo modo en idénticas situaciones, es a partir del análisis de la luz que llega a la Tierra que podemos realizar afirmaciones de conocimiento sobre composición, temperatura, movimiento y otras variables de estado en estrellas, nebulosas, etc.

Asumimos además que las leyes físicas tienen validez universal, para todo tiempo y espacio, una decisión para nada trivial, ya que constituye una parte muy importante de la base del modelo de universo actual.

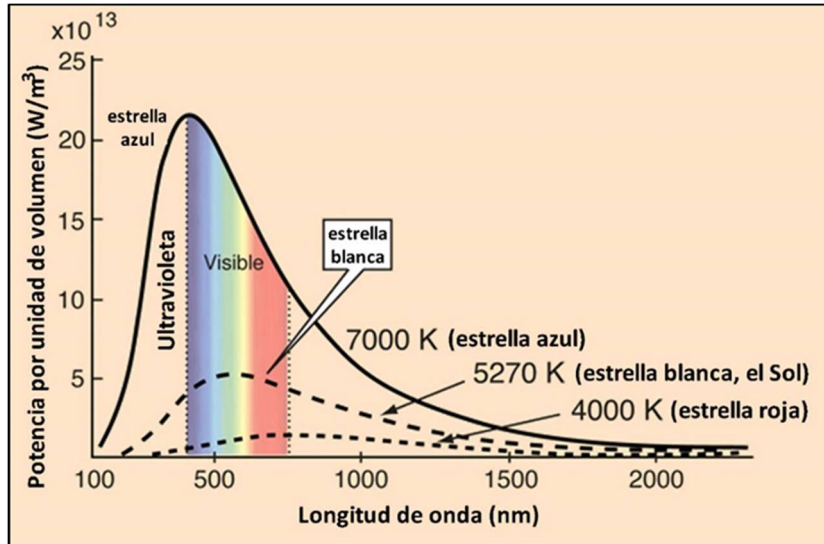
La Figura 7 muestra la luz de Sodio emitida por una llama al calentar sal de mesa, y por una luminaria de la ciudad, en emisión en el laboratorio y en absorción en el Sol. El mismo Sodio, aquí y allá.



**Figura 7:** Sodio en la Tierra y en el Sol. **Fuente:** del Autor y de Wikimedia Commons.

## EL MODELO DE CUERPO NEGRO

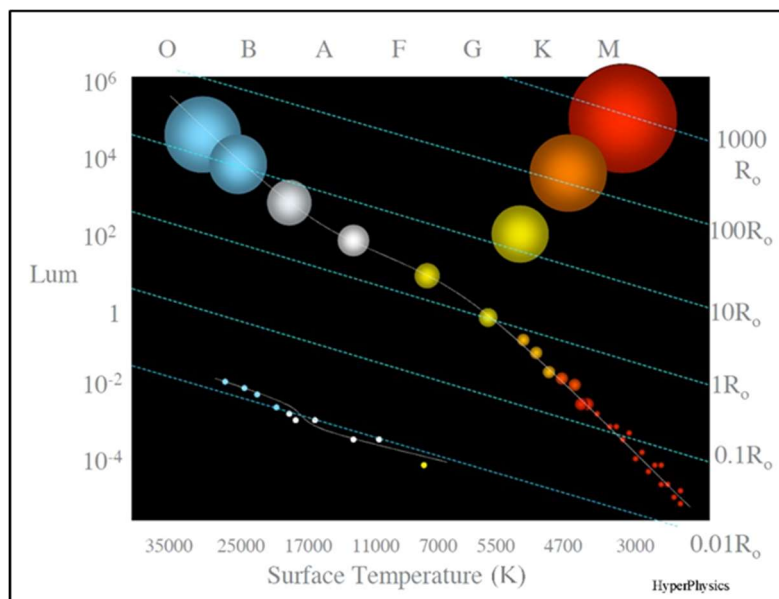
Las estrellas, y otros objetos astronómicos, considerados como fuentes emisoras de luz (radiación electromagnética), son modelizadas a partir del modelo de cuerpo negro (Figura 8), desarrollado por Max Planck en 1900. Esta es otra decisión de gran importancia, ya que a partir de ella pensamos y hacemos afirmaciones sobre las estrellas como si realmente funcionaran como el cuerpo negro teórico.



**Figura 8:** Curva de cuerpo negro. **Fuente:** HyperPhysics

A partir del análisis espectral de la luz emitida por las estrellas, que posibilita determinar la temperatura superficial (efectiva) de su superficie (fotosfera), el modelo de cuerpo negro permite relacionar las variables que las caracterizan ( $T$ ,  $L$ ,  $R$ ,  $M$ ).

Las leyes de Planck, Stefan-Boltzmann y Wien, y la relación Masa-Luminosidad para estrellas enanas ( $V$ ), van definiendo un conjunto de herramientas teóricas y observacionales que permiten comprender un poco mejor la diversidad de objetos y su funcionamiento, en el universo que podemos estudiar. Estas relaciones están brillantemente sintetizadas en el Diagrama Hertzsprung-Russel (Figura 9).

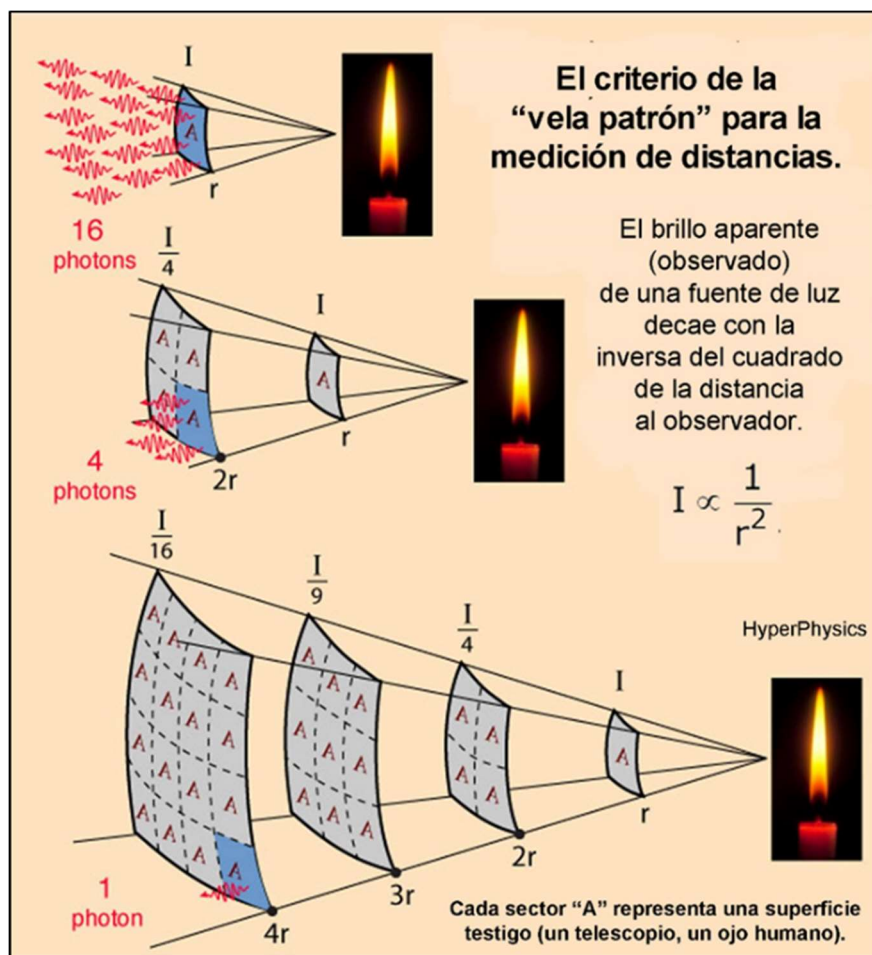


**Figura 9:** Diagrama HR. **Fuente:** HyperPhysics



## LAS ESTRELLAS COMO PATRONES LUMINOSOS

Para llegar aún más lejos en la determinación de distancias, se utilizó otra experiencia cotidiana: “si una fuente de luz se aleja, su brillo disminuye, y viceversa” (Figura 10).



**Figura 10:** Variación de la intensidad lumínica con el cuadrado de la distancia a la fuente.

**Fuente:** adaptada de HyperPhysics

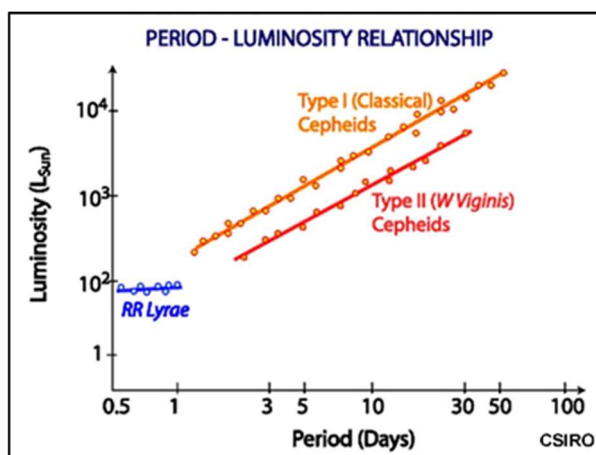
Asumiendo la validez universal de un hecho terrestre, de todos modos cabe preguntarse, ¿cómo hacer para llevar fuentes de luz por todo el universo para medir sus distancias?

Se consideró entonces a las estrellas como patrones luminosos, asumiendo que todas las estrellas del mismo tipo eran equivalentes. Así, comparando el brillo patrón (la luminosidad intrínseca, o su Magnitud Absoluta) correspondiente a un cierto tipo de estrella, con el brillo observado para cada estrella individual de ese mismo tipo, es posible obtener una medida indirecta de la distancia de la estrella a la Tierra.

Las estrellas utilizadas deben ser bien conocidas (modelizadas como cuerpos negros, y a partir de la teoría aceptada de evolución estelar), para dar por hecho cuál es su luminosidad intrínseca (Magnitud Absoluta) y luego compararla con el brillo que se detecta desde la Tierra (su Magnitud Aparente). De la relación de ambas, se calcula un valor para la distancia entre la estrella y el observador ubicado en la superficie/órbita terrestre (relación que se denomina “Módulo de distancia”).

Los dos métodos principales (no los únicos) para determinar distancias a partir de la variación de luminosidad de las estrellas son los siguientes:

- **Estrellas variables Cefeidas clásicas (Tipo I):** asumiendo la Relación Período-Luminosidad, desarrollada por la astrónoma Henrietta Swan Leavitt, se mide el período de la estrella y se obtiene su Magnitud Absoluta. Este método posibilita medir distancias en la Vía Láctea y a las galaxias más cercanas. (Figura 11)
- **SN Tipo Ia:** se asume que este tipo de estrellas llega a tener una única Magnitud Absoluta en su máximo brillo. Este método posibilita medir distancias a las galaxias más lejanas.



**Figura 11:** Relación Período-Luminosidad para variables Cefeidas y RR Lyrae.

**Fuente:** CSIRO

Todos estos métodos requieren previamente de ser “calibrados”, comparando las distancias obtenidas con las medidas por métodos geométricos como por ejemplo el de paralaje estelar.

## LA INTERPRETACIÓN DE LO QUE OBSERVAMOS

¿Qué nos dice una foto de un campo profundo de galaxias: un presente común a todos con la luz como fenómeno instantáneo, o un presente inmerso millones de años en nuestro pasado con la luz propagándose con velocidad «c»? ¿Vemos en ella un universo con un espacio infinito, con un punto privilegiado y direcciones especiales, lleno de materia sutil, o vemos un universo a partir de un espacio finito e ilimitado, isótropo y homogéneo, lleno de vacío y de campos? En otro orden, pero vinculado a lo anterior, ¿existe una única concepción sobre el Tiempo? ¿Y cómo se interpretaría en el siglo XIX, en los albores de la fotografía y de la naciente Astrofísica una fotografía actual con el efecto de lente gravitatoria producido por un cúmulo de galaxias?

La interpretación de lo que observamos, ya sea a ojo desnudo o por el telescopio James Webb, en un dibujo como registro a mano alzada o en una imagen digital de última tecnología, será siempre dependiente de los supuestos que hayamos tomado como válidos, sea en forma explícita o quizás en forma inconsciente. En los ejemplos antes desarrollados (y los hay muchos más), los supuestos fueron variando desde asunciones a partir de la experiencia más cotidiana, pasando por expandir la dimensión espacial cada vez más, hasta considerar que lo que conforma el universo y su funcionamiento es idéntico aquí y allá, en lo local y en la gran escala. No son pocos ni simples los supuestos que posibilitaron los desarrollos en Astronomía que hemos presentado en un rango temporal de muchos siglos.



## **NO SOMOS OBSERVADORES PRIVILEGIADOS**

Al decir que “recibimos información” del universo que nos rodea, cometemos dos imprecisiones. La primera, es que los agentes físicos en el universo (luz, partículas, ondas gravitacionales) no están dirigidos hacia nosotros, se distribuyen por todo el universo por igual (en principio). No somos privilegiados (otra forma de antropocentrismo); cualquier observador en el universo estaría detectando prácticamente lo mismo. La segunda, es que los agentes físicos no transportan información; la información, el conocimiento, lo construimos nosotros.

Por ejemplo, decimos que la luz transfiere energía, luego nosotros, de acuerdo con los supuestos que hayamos asumido, construimos afirmaciones de conocimiento como que “hay Sodio en el Sol”. Sin embargo, la luz ha llegado a la Tierra desde siempre, y hace poco tiempo que afirmamos que hay materia similar a la terrestre en las estrellas. Otras civilizaciones, con los mismos agentes físicos (o quizás otros más que pudieran existir) quizás hayan construido conocimiento distinto al nuestro: sabemos que así fue para pueblos y culturas a través del tiempo en la Tierra, debería ser equivalente para las muchas civilizaciones extraterrestres que asumimos existen.

## **EL CONOCIMIENTO ES UNA CONSTRUCCIÓN**

El conocimiento es una construcción, no está dado por hecho, no es previo a nuestra existencia e historia social. Aunque el conocimiento de sentido común es más laxo y el conocimiento científico tiene reglas de juego más específicas, ambos son construcciones históricas apoyadas en supuestos, más o menos conscientes, dentro del grupo social de pertenencia, sea la sociedad abierta o la comunidad científica.

Esos supuestos no son universales ni son eternos; son convenciones o asunciones, muchas de ellas implícitas, algunas por consenso, otras por poder. Como científicos y como educadores nuestra función requiere de tomar conciencia de cuáles son esos supuestos, del proceso por el cual fueron establecidos, de sus fundamentos, y de la condición transitoria de los mismos. Esta es una tarea trascendental de la Didáctica de la Astronomía. (Camino, 2021)

Esto es lo que brinda libertad, creatividad, y proyección a futuro a la ciencia en general, y a la educación en especial: debemos formar a los más jóvenes para ser parte de la concepción actual, de ser hijos de nuestro tiempo, pero con la visión puesta en las necesarias transformaciones que deben ocurrir, y que son inexorables que ocurran, más allá de nuestra visión, deseos o resistencias. Los supuestos actuales van a ser modificados, ese proceso de cambio es inexorable; miremos el pasado para comprender tal afirmación.

## **LO QUE HEMOS CONSTRUIDO, ES LO QUE SABEMOS**

La historia que se cuenta sobre el Universo es relativa a quiénes y en qué época la cuentan; las teorías no son el Universo sino lo que contamos de él. La sumatoria de todos los supuestos que hemos asumido y los métodos con los que trabajamos en consecuencia, es lo que nos hace ser “hijos de nuestro tiempo”, ser astrónomos de esta época, tener una cierta cosmovisión, científica en nuestro caso (Kuhn, 1992).

Lo que hemos construido y la forma en que lo manifestamos, es lo que sabemos. ¿Seremos capaces de formar a los más jóvenes para que sean conscientes de cómo es que sabemos, los astrónomos, lo que sabemos?



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERL, Sibylle. (2015). **Astronomy and Astrophysics in the Philosophy of Science**. arXiv:1510.03284. [physics.hist-ph]

CAMINO, Néstor. (2021). Reflexiones sobre lo que damos por hecho en la Enseñanza de la Astronomía (y de las Ciencias Naturales). En Amórtegui Cerdeño, E. F. (comp.). **Didáctica de las Ciencias Naturales: perspectivas latinoamericanas**. Aportes a la formación del Profesorado y la Educación Científica. Ushuaia: Universidad Nacional de Tierra del Fuego; Huila: Editorial Universidad Surcolombiana. 320 páginas. ISBN 978-987-46273-4-62021. pp. 103-124.

DICK, Steven J. (2020). The Philosophy of Astronomy, Cosmology and Astrobiology: A Preliminary Reconnaissance". En **Space, Time and Aliens. Collected Works on Cosmos and Culture**. Springer, NY, USA. Capítulo 37. ISBN 978-3-030-41614-0 (eBook).

ELLIS, George F. R. (2006). **Issues in the Philosophy of Cosmology**. <https://arxiv.org/abs/astro-ph/0602280v2>

KUHN, Thomas S. (1992). **La estructura de las revoluciones científicas**. Fondo de Cultura Económica, Breviarios. Buenos Aires, Argentina. 4ª Reimpresión.

RIZZUTI, Bruno Ferreira, SOUZA DA SILVA, Joilson. (2016). O antigo adapta-se ao moderno: verificação do valor da Unidade Astronómica a partir do trânsito de Vênus reproduzido com o *software Stellarium*. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 38, nº 3. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0007>

SILVA, Maria Romênia y CAMINO, Néstor. (2020). El tránsito de Venus hacia el final del siglo XIX y el surgimiento del séptimo arte. **Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias**, 15(1), 46-64. DOI: <http://doi.org/10.14483/23464712.14246>