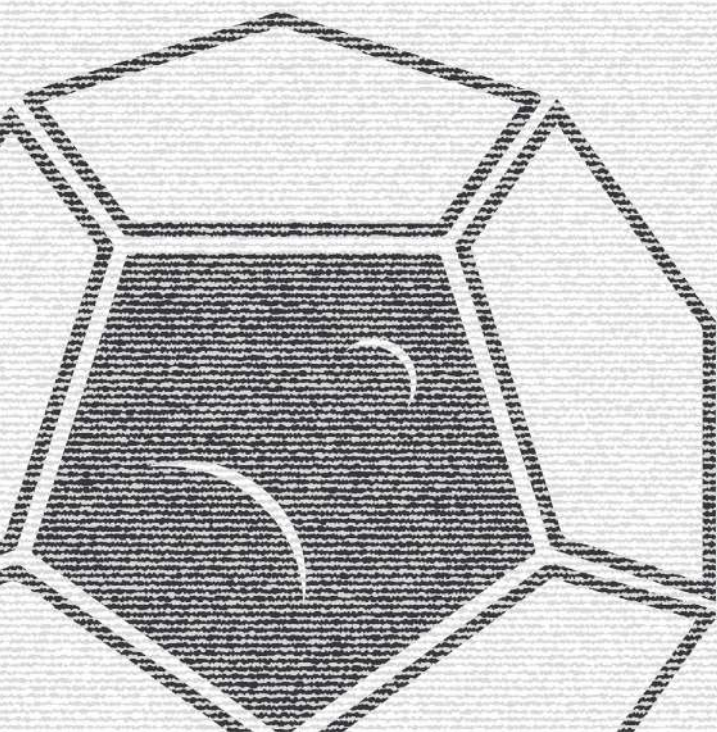


**Maximiliano Bozzoli**  
**Luis Salvatico**  
**David Merlo**  
**(Eds.)**

# **Epistemología e Historia de la Astronomía**

## **Volumen I**





# **Epistemología e Historia de la Astronomía**

## **Volumen I**

Maximiliano Bozzoli

Luis Salvatico

David Merlo

(Eds.)

**Colecciones  
del CIFYH**



Epistemología e historia de la Astronomía / Maximiliano Bozzoli ... [et al.]; compilación de Luis Salvatico; David C. Merlo. - 1a ed. - Córdoba : Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Filosofía y Humanidades, 2023.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-950-33-1721-1

1. Astronomía. 2. Historia. 3. Epistemología. I. Bozzoli, Maximiliano. II. Salvatico, Luis, comp. III. Merlo, David C., comp.  
CDD 520.3

Publicado por

Área de Publicaciones de la Facultad de Filosofía y Humanidades - UNC

Córdoba - Argentina

1º Edición

  
Área de  
**Publicaciones**

Diseño de portadas: Manuel Coll y María Bella

Diagramación: María Bella

Imagen portada: “JEHA (*Jornadas de Epistemología e Historia de la Astronomía*)” (2021), de Maximiliano Bozzoli

2023



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional.



## Consideraciones metodológicas sobre la Observación Astronómica

Jesús H. Calderón\*

### Resumen

La Astronomía es la ciencia observacional por antonomasia, desde que los humanos comenzaron a interesarse por los fenómenos del cielo se valieron de sus ojos. En algún momento se dieron cuenta que necesitaban ayudarse con ciertos dispositivos para poder conocer mejor acerca de estos fenómenos. Durante milenios estos dispositivos fueron cambiados o mejorados hasta llegar al moderno instrumental que se usa en la actualidad.

El objetivo de este trabajo es mostrar que el instrumental utilizado en la observación astronómica actual, denominado Sistema de Observación, emula nuestro sistema de visión.

Las distintas partes de este instrumental cumplen la misma función que los elementos que constituyen el ojo humano. Para mostrarlo se utilizará un esquema denominado Cadena de Observación, particularizando detalles del Sistema de Observación, que representa la metodología que se utiliza para realizar una observación astronómica en la actualidad. Previamente se hará un repaso muy breve de los hitos que contribuyeron al desarrollo de ésta en la antigüedad. También se discute el significado de conocer la realidad y cómo accede nuestra mente a ese conocimiento. En la actualidad la principal herramienta que dispone la humanidad para generar conocimientos son las ciencias, en este trabajo se plantean las características que definen las ciencias naturales, específicamente, a la Astronomía.

**Palabras clave:** *Astronomía - Observación - Metodología - Historia - Sistema de visión*

\* Observatorio Astronómico de Córdoba (UNC) - Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación (UNC).

## Abstract

Astronomy is the observational science par excellence since humans began to be interested in the phenomena of the sky they used their eyes. At some point, they realized that they would need help with certain devices in order to learn more about these phenomena. During millennia, these devices were changed or improved until reaching the modern instrumentation that they use today.

The objective of this work is to show that the instruments used in current astronomical observation, called the Observation System, emulate our vision system.

The different parts of this instrument fulfill the same function as the elements that make up the human eye. To show it, a scheme called Observation Chain will be used specifying details of the Observation System, which represents the methodology used to carry out an astronomical observation today.

Previously, a brief review shows the milestones that contributed to the development of instruments in ancient times. It is also discussed the meaning of knowing reality and how our mind accesses that knowledge. At the present, the main tool humanity has to generate knowledge are the sciences. The characteristics defining natural sciences are proposed, specifically the Astronomy.

**Key words:** *Astronomy - Observation - Methodology - History - Visual system*

## Introducción

**El hombre primitivo y su relación con la naturaleza: la existencia de un orden**

El hombre primitivo estuvo en contacto muy estrecho con la naturaleza que lo rodeaba, *mucho más de lo que el hombre moderno lo está y lo imagina*. Sólo podemos conjeturar sobre la atracción que el hombre primitivo sintió por los fenómenos que acontecían en el cielo y su vinculación con algunos que ocurrían en su entorno, que sin duda debieron llamar su atención, no bien sus facultades intelectuales alcanzaron el desarrollo suficiente para ejercer esta actividad de asociación. El hombre fue evo-

lucionando, su inteligencia y su conciencia fueron adquiriendo potestad, y de solo ver y mirar estos fenómenos, en algún momento, desarrolló la capacidad de *observar*, es decir *examinar atentamente* determinados objetos o fenómenos. *Observar se convirtió en una facultad más de su mente.*

Conviene destacar que el *homo sapiens sapiens* percibe el mundo principalmente a través de *su sentido de la vista*<sup>1</sup>, que es el más evolucionado de los sentidos visuales del mundo animal con el cual también tiene la capacidad de observar. Conviene tener en cuenta que el hombre -hablando en términos técnicos actuales- está naturalmente dotado de un “sistema de observación visual completo”, constituido por dos partes bien diferenciadas, por un lado, el aparato de visión constituido por sus ojos, y por otro su cerebro que realiza las operaciones de adecuación de la información para hacerla comprensible e interpretable por éste (Miczaika & Sinton, 1961). Nuestra visión es tan sólo sensible a una ínfima parte de toda la radiación electromagnética en la que nos encontramos inmersos. *Esta parte que percibimos la denominamos luz.* Por razones evolutivas nuestros ojos son sensibles a aquel rango de radiaciones en que nuestro Sol se manifiesta con máxima intensidad.

Los ojos tienen un complejo sistema óptico que genera imágenes, para “ver” éstas, nuestros ojos también están dotados de un extraordinario detector de luz la “retina” que convierte la imagen luminosa que se proyecta sobre ella en impulsos eléctricos, éstos son enviados a través del nervio óptico a la corteza visual, donde son decodificados y transformados en información que el cerebro interpreta como una imagen y la almacena o descarta<sup>2</sup>.

El *homo sapiens sapiens* está también dotado, a diferencia de otros seres del reino animal, de *manos notablemente dúctiles*, que le *dan una extrema funcionalidad gracias a su inteligencia.* En este contexto, no me refiero únicamente a la capacidad del hombre de construir y utilizar herramientas para la ejecución de sus tareas cotidianas, sino a la capacidad de construir herramientas a las que, en la actualidad, denominamos “instrumentos”, los *que extienden la capacidad de nuestros sentidos* (Bozzoli, 2019). En el caso del sentido de la visión, se han construido lentes que adecuadamente coloca-

1 Una descripción muy exhaustiva puede verse en: [https://en.wikipedia.org/wiki/Visual\\_perception](https://en.wikipedia.org/wiki/Visual_perception)

2 Un abordaje más detallado y exhaustivo sobre la observación visual puede verse en Roy & Clarke, 2003.

das aumentan nuestra capacidad de ver objetos muy pequeños o grandes espejos, con los que es posible visualizar astros invisibles para el ojo humano. También se ha extendido la capacidad de nuestra retina mediante la utilización de la placa fotográfica detector con capacidad de acumular y registrar información, posteriormente la válvula fotoeléctrica y más recientemente la construcción de detectores electrónicos basados en semiconductores de gran sensibilidad y también con capacidad de acumular información, la que después de leída es guardada en formato numérico en algún soporte de datos externo.<sup>3</sup>

En la actualidad con los instrumentos que han sido desarrollado para extender nuestro sistema de visión no sólo podemos percibir luz, sino además todo el espectro electromagnético desde ondas de radio de longitudes de onda de kilómetros, pasando por una multitud de rangos de longitudes de onda intermedios hasta llegar a los rayos gamma de longitudes de onda de 10-13m, los que transportan más energía. Esta información puede ser visualizada como imágenes en la pantalla de una computadora, lo cual le permite al cerebro interpretar rápidamente lo que estamos “observando” (Kitchin, 2003).

En este trabajo se propone mostrar sucintamente cómo fue evolucionando la necesidad de ir haciendo uso de instrumentos cada vez *más evolucionados para tener un mejor conocimiento de los eventos que ocurren en el cielo* y poder profundizar y precisar el conocimiento astronómico. Finalmente se mostrará en forma conceptual en qué consiste actualmente el procedimiento de la observación astronómica en su conjunto y se describirá el sistema de observación.

## **Los primeros instrumentos. El Gnomon: estudiando el movimiento del Sol**

El Sol, por su sobresaliente presencia en el cielo y los fenómenos a él asociados, es el astro más preponderante del cielo. Fenómenos como, su salida y puesta, que daban origen al día y la noche; los vinculados a su supervivencia y la influencia en otros seres vivos como animales y plantas; y también la Luna con sus características fases que se repetían perió-

---

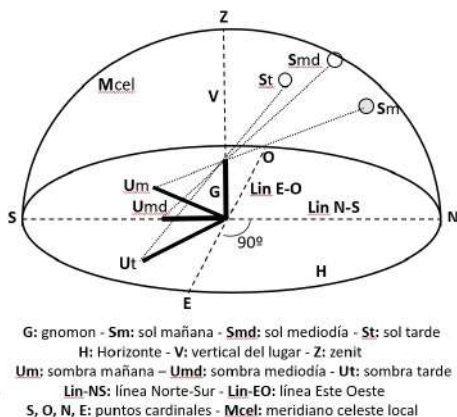
3 La historia del desarrollo de los detectores de estado sólido puede verse en McLean (2008, 2013).

dicamente; debieron incentivar notablemente la *curiosidad* del hombre y llamar expresamente su atención. Estos fenómenos lo llevaron a concluir que en la naturaleza *existía cierto orden* que se manifestaba como *regularidades*. Sin duda el primer “instrumento” que utilizó para observar el cielo fueron sus ojos, con los que la naturaleza lo había dotado (Neugebauer, 1975).

Las regularidades fácilmente observables y la curiosidad natural de los humanos deben haber instado a algunos de ellos a buscar otras que no eran tan fácilmente perceptibles o descriptibles, por caso, el cambiante aspecto de las sombras producidas por el Sol en el transcurso del día y en diferentes épocas del año. En algún momento se dio cuenta que debía ayudarse de algunos artefactos para mejorar su capacidad de observación, la que lo llevó a realizar numerosos descubrimientos que lo ayudaron a conocer el funcionamiento del Mundo.

El *primer instrumento* empleado por el hombre para estudiar las sombras del Sol fue un palo colocado verticalmente actualmente conocido como “Gnomon”. En este sentido se lo puede considerar como el *primer instrumento astronómico* inventado por la humanidad. La *forma de usarlo* puede, también, considerarse como el *primer procedimiento de la observación astronómica* (Fig. 1).

El gnomon le permitió al hombre darse cuenta que la sombra más corta producida por el Sol, en cualquier día del año y en cualquier lugar que se encontrara *japuntaba siempre en la misma dirección!*



**Figura 1.** Sombras Gnomon. Créditos del autor.

La sombra mínima se produce cuando el Sol se encuentra en el punto más alto del día definido como el “mediodía”. Esta nueva regularidad encontrada les permitió a los humanos ubicarse espacialmente en su mundo “plano”. La línea definida por esta nueva regularidad: una *dirección preferencial*, en la actualidad esta línea se denomina “línea norte-sur” y a su perpendicular “línea este-oeste”. Las intersecciones de éstas con el horizonte definen los *puntos cardinales*. Dado que el comportamiento de las sombras del gnomon nos da información del movimiento del Sol en el cielo le permitió tener una idea de la “hora”, con el tiempo le permitió descubrir muchas otras regularidades, por ejemplo, *el principio y fin de las estaciones*. Estos momentos fueron denominados *Equinoccios y Solsticios*. A modo de conclusión puede decirse que el hombre se dio cuenta que *era necesario observar para conocer el mundo y utilizar instrumentos para mejorar la capacidad de la observación*, pudiendo pensarse que éste fue el origen de la Astronomía, tal como la entendemos en la actualidad.

Resulta interesante destacar que el estudio de las sombras del gnomon, posiblemente condujo a la necesidad de *medir ángulos*, esto es asignarles un valor numérico o significado matemático. Esto ocurrió en el Antiguo Egipto unos 1500 años AC. Una breve referencia a este asunto puede verse en (Wallis, 2005). La medición de ángulos resultó crucial en la comprensión del funcionamiento del Mundo ya que jugó y sigue jugando un rol determinante en el desarrollo de la Astronomía no sólo por el hecho de darnos las posiciones de los astros sobre el firmamento, sino también por permitir medir su movimiento transversal sobre la misma.

Con el paso de los siglos, fue requiriendo de mejores instrumentos y métodos de análisis e interpretación para comprender el funcionamiento de los astros. Conviene destacar que este instrumento, tan antiguo y elemental, fue utilizado en diversas misiones espaciales: por ejemplo, Apolo 11 -y otras de la misma serie- que puso a los humanos en la Luna, se utilizó con el propósito conocer con precisión el ángulo del Sol para realizar mediciones fotométricas de las muestras de materiales que se traerían a la Tierra al momento ser recogidas (NASA<sup>4</sup>). Otros gnomon fueron colocados en los *rovers* Spirit y Opportunity de las misiones estadounidenses

---

4 NASA (1969). Apollo11 Science Experiments.

a Marte<sup>5</sup>, además de sus funciones científicas llevan la inscripción “*Two worlds, One sun*” y la palabra “Marte” en veintidós lenguajes.

## La Esfera Armilar

La observación del cielo nocturno permitió al hombre darse cuenta que la gran mayoría de los astros, pequeños puntos brillantes de diferente brillo y color, seguían caminos curvos, en particular círculos paralelos, de esta a oeste, caminos éstos que no se modificaban con el paso del tiempo, a estos astros los denominó “estrellas”. Este movimiento de los astros se denominó “movimiento diurno”. Tampoco las distancias mutuas se modificaban o, lo que es lo mismo, *no cambiaban sus posiciones relativas* con el paso del tiempo, por lo que se hablaba de “estrellas fijas”. Éstas no se encontraban distribuidos uniformemente en el cielo, en algunos lugares las estrellas más brillantes parecían agruparse en pequeños conjuntos, dado que estas configuraciones estelares no cambiaban con el paso del tiempo las comenzó a emplear como referencias para ubicarse en el cielo nocturno. A estos conjuntos de puntos brillantes notables los denominó *constelaciones*. Dado que a nuestra mente le resulta difícil recordar con cierta precisión distribuciones de puntos, los asoció, como una manera de reconocerlos fácilmente, cómo los puntos sobresalientes que definen formas de objetos de su vida cotidiana, animales o seres mitológicos. Por ejemplo, *Triangulum* (Triángulo), *Aries* (El Carnero), *Pegasus* (Pegaso). Vale la pena destacar que las constelaciones, aunque con diferentes nombres, se encuentran en todas las grandes civilizaciones antiguas.<sup>6</sup>

Unos muy pocos astros cambiaban su posición respecto a las “estrellas fijas”, se los denominó *astros errantes*, planetas en nuestro idioma. Para describir su movimiento, el hombre agregó a la mera observación visual la *medición* de las posiciones de los astros, *un importantísimo progreso*. Debíó construir dispositivos específicos para este fin, básicamente medir ángulos. El pasar de *observaciones cualitativas* a las *observaciones cuantitativas* convirtió los resultados descriptivos de las primeras en resultados numéricos

5 Detalles sobre los gnómones en Marte pueden verse en: <https://en.wikipedia.org/wiki/MarsDial>

6 Más sobre las constelaciones puede verse en: Marshall (2019).

lo que introdujo el *empleo de la Matemática* como herramienta imprescindible para la práctica astronómica (Neugebauer, 2003).

Eratóstenes de Cirene, 276-194 a. C, fue un matemático, astrónomo y geógrafo griego. Hiparco, a quién nos referimos más abajo, le atribuyó el invento de la Esfera Armilar<sup>7</sup>, (Fig.2), instrumento que permitía medir la posición de los astros. Es una representación del firmamento a escala humana, consiste en una esfera transparente definida por los círculos máximos conocidos entonces, el Horizonte, el Ecuador, la Eclíptica, entre otros, con la Tierra en su centro tal como se concebía el Mundo en esos tiempos.



**Figura 2.** Esfera Armilar antigua. Créditos: Wikipedia.org

Los descubrimientos de Eratóstenes fueron numerosos y son vastamente conocidos, a modo de ejemplo, citaré que no sólo pensaba que la Tierra era una esfera -idea propuesta por el astrónomo Aristarco de Samos 310-230 a.C., unos cien años antes- sino que también midió su circunferencia, para lo cual usó un gnomon. Lo que se desea destacar en

---

<sup>7</sup> Más información puede verse en: Evans (1998).

esta mención de Eratóstenes, es que la *operación de medir y el uso de la Matemática* significó un importante avance metodológico que contribuyó enormemente a mejorar nuestro conocimiento del Mundo.

## **La importancia del registro de las observaciones: de listas a catálogos. Descubrimiento de la Precesión de los Equinoccios**

Los primeros registros de eventos naturales, se encuentran en las *tablillas de arcilla* que datan de unos 3500 años a. C. Las primitivas anotaciones sobre estrellas solo refieren a pocos casos aislados, sin criterios generales, denotando algún caso particular donde se anotaba el lugar y momento de la puesta de alguna estrella notable. Cuando aumentó el número de registros de los fenómenos astronómicos, comenzaron a ser ordenados bajo algún criterio y estas *listas de datos* se convirtieron en *catálogos*. Hiparco de Nicea, 190-120 a. C., astrónomo, geógrafo y matemático griego muestra de forma clara la *importancia de los catálogos*. Construyó, en el lapso 147-127 a.C., su propio catálogo estelar con posiciones y brillos de 850 estrellas, utilizando una *esfera armilar*. Al comparar las posiciones estelares de su catálogo con las producidas alrededor del año 300 a. C. por Timocharis y Aristillus -astrónomos de la Biblioteca de Alejandría- encontró una *discrepancia* sistemática de 2° en las posiciones listadas en estos catálogos. Concluyó entonces que la línea de los Equinoccios debería dar una vuelta completa sobre la Eclíptica en aproximadamente 26000 años. A este fenómeno lo denominó *Precesión de los Equinoccios*<sup>8</sup>. No pudo dar una explicación sobre este fenómeno y hubo que esperar 1800 años hasta Newton para tenerla. Resumiendo, el principal legado de Hiparco fue mostrar que: *observar, catalogar, medir y calcular*, son imprescindibles para entender el mundo. Este esquema metodológico no ha cambiado significativamente en los últimos dos milenios.

Las mediciones de las posiciones planetarias de Hiparco también fueron la base del desarrollo del *Modelo de los Epíclidos*<sup>9</sup> de Claudio Ptolomeo 100-170 d. C., astrónomo, geógrafo y matemático griego que trabajó en

8 Una descripción más detallada de este fenómeno puede verse en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Precesi%C3%B3n\\_de\\_los\\_equinoccios](https://es.wikipedia.org/wiki/Precesi%C3%B3n_de_los_equinoccios)

9 Una explicación del modelo de Ptolomeo puede verse en: [https://es.wikisource.org/wiki/Almagesto:\\_Sistema\\_Ptolemaico\\_o\\_Sistema\\_Geoc%C3%A9ntrico](https://es.wikisource.org/wiki/Almagesto:_Sistema_Ptolemaico_o_Sistema_Geoc%C3%A9ntrico)

la Biblioteca de Alejandría entre los años 127 y 145. Su intención era explicar el movimiento retrógrado de los planetas<sup>10</sup> en un universo geocéntrico modelo filosófico del Mundo creado por Platón y Aristóteles unos 500 años antes. Nótese en la figura que Ptolomeo, (Fig.3) quién tiene en sus manos un cuadrante, instrumento para medir posiciones angulares de los astros, no está solo, sino acompañado por Urania la Diosa de la Astronomía y Astrología de la mitología griega, lo que nos indica el peso del mito en el desarrollo del conocimiento. Por otra parte, Ptolomeo muestra la influencia del prestigio de Aristóteles al intentar mantener la validez del modelo geocéntrico, sobre el modelo heliocéntrico propuesto por Aristarco de Samos.<sup>11</sup>



**Figura 3.** Grabado de un Ptolomeo coronado guiado por Urania, por Gregor Reisch (1508), Nótese que Ptolomeo lleva en su mano derecha un cuadrante. Crédito: hmn.wiki

10 Una descripción más detallada de este fenómeno puede verse en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Retrogradaci%C3%B3n\\_de\\_los\\_planetas#:~:text=La%20retrogradaci%C3%B3n%20de%20los%20planetas,un%20punto%20de%20vista%20particular](https://es.wikipedia.org/wiki/Retrogradaci%C3%B3n_de_los_planetas#:~:text=La%20retrogradaci%C3%B3n%20de%20los%20planetas,un%20punto%20de%20vista%20particular).

11 Un tratado más completo sobre la historia de la astronomía puede verse: en Doig (1950) y De Vacouleurs (1959).

## El freno del desarrollo del conocimiento del Mundo en Occidente

Es conveniente destacar que, pese al desarrollo alcanzado por los griegos, el desarrollo de la Astronomía en Occidente sufrió un freno muy notable desde fines de la Edad Antigua hasta bien avanzado el Renacimiento, hecho que no ocurrió en el mundo árabe. Cómo hipótesis de las causas de este hecho, podemos citar dos: una seguramente el prestigio de Aristóteles y otra posiblemente según mi opinión, la postura de la Iglesia Cristiana que abrazó las ideas aristotélicas e incorporó el modelo geocéntrico a su sistema de creencias, negando rotundamente la posibilidad de un modelo heliocéntrico para el Sistema Solar, el mundo conocido hasta el momento, porque de aceptarlo atentaba contra la idea de la Creación y el origen divino del hombre lo que le quitaba el dominio que tenía sobre sus fieles. (Consideraciones del autor)

Hubo que esperar 1400 años hasta el trabajo de Nicolás Copérnico, 1473-1543 titulado *Sobre las revoluciones de las esferas celestes*, publicado póstumamente en 1543 para establecer formalmente la validez del *modelo heliocéntrico*, propuesto unos 1800 años antes por Aristarco (Koesler, 1959).

## De las observaciones a las leyes que rigen el movimiento planetario, y de éstas a sus causas. La aparición de la Teoría como herramienta fundamental para entender el Mundo

Tycho Brahe (1546-1601), astrónomo, astrólogo y alquimista danés, era consciente de la necesidad de *mejorar la calidad de las observaciones* (Dreyer, 1953) y (Pannekoek, 1961), lo que podría lograrse mejorando la calidad de los instrumentos de observación y consecuentemente la precisión en los resultados. Tuvo el suficiente carisma para hacer que el rey de Dinamarca y Noruega, Federico II, le construyera su propio observatorio, quizá el primer instituto de investigación, tal como los concebimos en la actualidad: *Uraniborg*, dónde instaló, inicialmente, sus instrumentos. Para darnos una idea del tamaño de éstos, el cuadrante con que medía las posiciones de las estrellas pesaba 200kg, ¡gigante para su época! Sus mediciones *alcanzaron una precisión de unos 2'* (dos minutos de arco), calidad notable para esos días. Nótese que 1' equivale, aproximadamente, al ángulo que subtiende el espesor de un cabello visto a 1m de distancia. Tycho produjo

varios catálogos con *excelentes posiciones de los planetas*. Resulta interesante destacar que Tycho *no aceptaba totalmente el modelo copernicano*, lo que llevó formular su propio modelo del mundo. Esto muestra las dificultades para la aceptación del modelo heliocéntrico.

Johannes Kepler, 1571-1630, astrónomo y matemático alemán, ayudante de Tycho, accedió a los catálogos producidos por éste después de su muerte. Se dio cuenta que las posiciones planetarias medidas por Tycho, no eran compatibles con las órbitas circulares del modelo copernicano. Su formidable capacidad como matemático le permitió concluir en 1609 que las órbitas *eran elipses con el Sol ubicado en uno de sus focos* (Primera Ley), posteriormente, entre 1609 y 1619 enunció dos leyes<sup>12</sup> *más que permitieron entender el funcionamiento del sistema planetario*. Estas leyes matemáticas, por ser deducidas de las observaciones de un fenómeno, se denominaron *leyes fenomenológicas*.

Contemporáneamente con Kepler, Galileo Galilei, (1564-1642) -astrónomo, filósofo y físico italiano- utiliza en 1609 un telescopio, instrumento inventado por Hans Lippershey unos años antes (King, 1955). No sabemos si miró el cielo con su instrumento, posiblemente sí, pero no se animó a contar lo que vio. En cambio, Galileo sí miró el cielo y contó lo que vio en su libro *Sidereus Nuncius* (El Mensajero Sideral) (1610). Merece destacarse que Galileo tuvo el suficiente valor para “contar” lo que vio, lo que casi le cuesta la vida. Para salvarse de la condena de la Santa Inquisición se vio obligado a abjurar de sus teorías científicas. Entre sus descubrimientos, el que merece destacarse en este contexto, fue *el de las fases del Planeta Venus*, que era la principal objeción de la que se aferraba la Iglesia para defender el modelo geocéntrico, este descubrimiento, consolidó definitivamente *el modelo heliocéntrico*. No comentaré aquí los conflictos con la Iglesia Católica que le acarrearón sus importantísimos descubrimientos por ser una historia suficientemente conocida. Cabe destacar el *enorme crecimiento* que el telescopio produjo en la observación astronómica ya que fue la herramienta fundamental para su desarrollo posterior. También merece destacarse que Galileo es considerado como el Padre de la Física tal como la concebimos en la actualidad, al introducir

---

12 Un tratamiento completo de este tema puede verse en: [https://en.wikipedia.org/wiki/Kepler's\\_laws\\_of\\_planetary\\_motion](https://en.wikipedia.org/wiki/Kepler's_laws_of_planetary_motion)

la *experimentación* como método de trabajo para encontrar las leyes que rigen el mundo físico.

Isaac Newton, (1643-1727), físico, teólogo, inventor, alquimista y matemático inglés, intrigado por las Leyes de Kepler intentó encontrar las causas del comportamiento del movimiento planetario, sus estudios lo llevaron a concluir que para satisfacerlas debía existir una causa. la denominó fuerza de la gravedad -la primera interacción fundamental de la naturaleza descubierta- esta se regía por una ley matemática denominada Ley de la Gravedad. La misma fue publicada en su libro: *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, más conocido como “Principia”, en el año 1687. Desde el punto de vista metodológico la importancia de esta ley, es que no se formula a partir de observaciones, sino que se deduce mediante razonamiento lógico-matemático. Aparece así una nueva herramienta para producir conocimiento: la Teoría.

## Qué significa conocer y entender el mundo: los modelos

Todos somos conscientes de nuestra existencia, esta vivencia se manifiesta en un entorno de eventos al que denominamos nuestra *realidad*. Está constituida por el conjunto de hechos accesibles a nuestra percepción natural, más a los que se accede con la ayuda de instrumentos desarrollados *ad hoc*, y los que nuestro intelecto accede mediante el lenguaje.

La realidad nos *plantea interrogantes*, las respuestas a éstos. conducen al *conocimiento y comprensión* de la misma.

Al intentar tomar conocimiento del mundo físico, una cuestión que primariamente se nos plantea es: *¿cómo accede nuestra mente a los elementos que lo constituyen?*

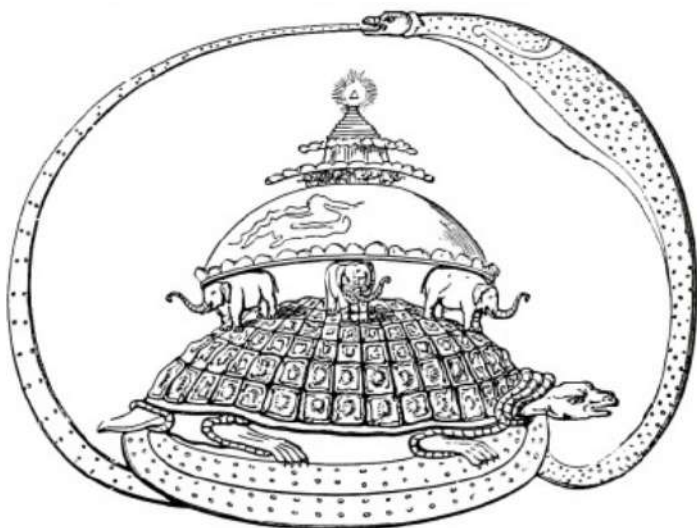
La respuesta que mejor se aproxima a esta cuestión, a juicio del autor, es: *los elementos de la “realidad” no son accesibles en forma directa a nuestra mente sino tan sólo a través de modelos.*

Los *modelos* son *representaciones abstractas* contruidos por nuestra mente que produce una versión simplificada de un objeto o un sistema o realidad compleja que nos facilita su comprensión.

Por consiguiente, podemos afirmar qué *conocer o comprender acerca de “algo”, significa tener un modelo para ese “algo”.*

Un ejemplo muy afín a la temática de esta presentación ayudará a comprender mejor la afirmación arriba expuesta: para ello vale la pena

analizar el *modelo o concepción mitológica del Mundo* según la Cosmogonía Hindú que se muestra en la figura 4:



**Figura 4.** Modelo del Mundo según la Cosmogonía Hindú.

Créditos: World History Archive

Vale la pena destacar que el conocimiento y comprensión de la realidad además de satisfacer nuestras inquietudes intelectuales son necesarios para nuestra supervivencia y nos da *certezas* sobre nuestro futuro.

La realidad está constituida por *entidades concretas* que son las que constituyen el *universo físico: materia y energía, y espacio y tiempo*. Más *entidades abstractas*, por ejemplo, *ideas, conceptos, cualidades como la bondad y otras*. Lo importante de destacar es que el conocimiento y comprensión de la “realidad” es posible si disponemos de *modelos* para las entidades que la constituyen y para su funcionamiento.

De aquí en adelante se empleará la palabra “realidad” como sinónimo de “mundo físico”.

Debe tenerse en cuenta que un modelo es una *aproximación* a la realidad que nuestra mente construye a partir de elementos o conocimientos

más simples, previamente aceptados. Conviene destacar que los modelos reflejan nuestras *estructuras mentales* que fueron construidas por el conjunto de vivencias experimentadas e influidos por la cultura en que nos desarrollamos. Dado que el conocimiento y nuestras estructuras mentales van evolucionando, los modelos también evolucionan.

Conocer un elemento o una parte de la realidad equivale a generar un *modelo* para éstos, la calidad o validez de éste surge de cuán bien describe el objeto bajo estudio -o lo que es lo mismo, cuánto se aproxima a la realidad- cuando se lo confronta con ésta.

En la actualidad disponemos de una poderosa herramienta para construir modelos y responder a los interrogantes que plantea la realidad: *la Ciencia*. Los *modelos científicos son su producto*.

A criterio del autor las principales características de la Ciencia<sup>13</sup> pueden resumirse en los siguientes ítems:

- La Ciencia es un *método objetivo* que nos permite tomar conocimiento de la *realidad*.
- El método se denomina *Método Científico*.
- Sus resultados constituyen el *Conocimiento Científico*.
- Sus resultados son verificables y también falibles, pero autocorregibles.
- En las ciencias fácticas las teorías y modelos científicos deben ser validados por las observaciones.
- Si los modelos concuerdan con las observaciones deben ser aceptados, si hubiese discrepancias, deben ser mejorados o eventualmente descartados.
- La Ciencia se basa en hechos o conocimientos previos.

---

13 Un tratamiento más profundo de esta temática puede verse en: Bunge (1960, 1969).

- Los resultados de la Ciencia no son universales, tienen sólo validez sí y sólo *si cumplen rigurosamente* con el conjunto de hipótesis que se asumen para obtener sus resultados.
- Las teorías científicas son válidas en el momento y las circunstancias en que se producen.

## Herramientas de la Ciencia

La Ciencia, para su implementación se vale de tres herramientas: Observación, Experimentación y Teoría. Estos son los pilares fundamentales del Método Científico. Las dos primeras generan información cuantitativa, una vez interpretados estos datos se generan hipótesis o un conjunto de ellas que permiten construir modelos observacionales que pueden ser corroborados o no por nuevos experimentos u observaciones. Otras veces estos datos o modelos son tomados por la teoría para tratar de explicar lo hechos fundándose en leyes más generales, produciendo modelos teóricos o teorías científicas más generales. Un ejemplo muy ilustrativo de esto último, fue la explicación del apartamiento del movimiento del perihelio de Mercurio respecto al previsto por la Teoría Newtoniana de la Gravitación, la primera hipótesis propuesta para explicarlo, era que debería existir un planeta, no observado aún, entre Mercurio y el Sol, este hipotético planeta llegó incluso a ser bautizado con el nombre de Vulcano, hipótesis que fue descartada prontamente por razones observacionales y no fue sino hasta el advenimiento de la Teoría de la Gravitación de Einstein que pudo explicarse la mencionada desviación<sup>14</sup>, lo que a su vez significó la primera validación observacional de esta Teoría.

No puede dejar de citarse una actividad que es un fuerte estímulo y contribuye notablemente al desarrollo de la Ciencia: la *especulación científica*. Ésta no está completamente prohibida en la ciencia utilizada para la formulación de hipótesis. La especulación inteligente, es decir basada en conocimiento científico bien establecido, puede ser muy útil. La espe-

---

14 Más información sobre el movimiento anómalo de Mercurio puede verse en: <https://teoria-de-la-relatividad.blogspot.com/2009/03/10-relatividad-general-dos-predicciones.html>

culación científica se practica mediante la reflexión en un plano exclusivamente teórico. Por ejemplo, las especulaciones sobre el Multiverso<sup>15</sup>.

Debemos diferenciar lo que es una “especulación” de lo que es una “conjetura”, quizás el ejemplo más destacable de la Astronomía, sea la conjetura de los “Universos islas” que enunció en 1755 Immanuel Kant (1724-1804) basado en la asociación de ideas generadas a partir de las observaciones de las “nebulosas” del astrónomo inglés William Herschel (1738-1822). Y también de lo que es una hipótesis extraída de un hecho observacional bien establecido como la existencia de una materia invisible entre las galaxias en 1933, actualmente denominada “materia oscura”, propuesta por el astrónomo Fritz Zwicky (1898-1974).

En este trabajo nos referimos como Ciencia a las *ciencias fácticas*, en particular la Astronomía tal como se la concibe en la actualidad. Ésta presenta la característica que estudia fenómenos naturales que se ven en el cielo, es decir *experimentos naturales*: en ellos no hay intervención humana y son fruto del libre juego de las leyes de la naturaleza. Por el hecho que la Astronomía sólo puede limitarse a observarlos la consideramos principalmente una *ciencia observacional*. La Astronomía cuenta también con su *rama teórica*, que comienza a desarrollarse recién en la primera mitad del siglo pasado con estudios sobre la evolución estelar, se la denominó *Astrofísica Teórica*. Con la aparición de las computadoras y sus consecuentes facilidades de cálculo, podemos decir que la Astronomía desarrolló su capacidad de *diseñar y realizar experimentos, simulando sistemas cósmicos*, en este sentido podemos hablar, también, de una *Astronomía Experimental*.

## La observación astronómica

Este apartado está dedicado a una descripción resumida de la moderna observación astronómica cuyo fuerte desarrollo arranca desde la aplicación del telescopio con el agregado de instrumental accesorio específico para el estudio de los fenómenos celestes. La bibliografía existente sobre este tema es muy extensa por lo solo se citarán algunas obras para quienes deseen profundizar en los temas que a continuación se desarrollan:

---

15 Más detalle de la especulación sobre el Multiverso puede verse en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Multiverso>

Walker (1987), Schroeder (2000), Kitchin (2003) y York, Gingerich & Zhang (2012).

## Atributos y observables

Las entidades astronómicas, al igual que cualquier otra del mundo físico, están caracterizadas por lo que llamaremos sus *atributos*, estos fijan con claridad, exactitud y precisión la naturaleza de estas entidades. Estos atributos no son otra cosa que el *conjunto de propiedades físicas* que las particularizan. Para encontrar estos atributos necesitamos *observar* estas entidades y encontrar cuánto valen sus propiedades físicas, esto es *medirlas, si fuesen mensurables, o tipificarlas* de acuerdo a determinados criterios cualitativos, si no fueran mensurables. Por ejemplo, en el caso de una estrella podemos medir su posición angular, su masa, su temperatura superficial o tipificarla de acuerdo a su tipo espectral o concluir que es una “binaria eclipsante”; en el caso de una galaxia podemos medir su velocidad radial y clasificarla por su morfología como una “espiral barreada”.

Si solamente nos limitáramos a examinar con atención estas entidades mirándolas, sólo podríamos hacer una descripción cualitativa muy subjetiva, pero cuando medimos algunas de sus propiedades podemos realizar una descripción cuantitativa, no subjetiva, logrando extraer información confiable. Los astros tienen muchos otros atributos, aparte de los ya mencionados, por ejemplo, su distancia, el estado de movimiento, edad, estado evolutivo, composición química, pertenencia a un sistema compuesto por muchos miembros, etc.

Sólo algunos de los atributos son directamente medibles o tipificables con nuestras observaciones, a éstos los denominamos *observables*, es decir, podemos *medir directamente* el valor de sus propiedades físicas o ser tipificados mediante un análisis de su apariencia. Por ejemplo, podemos medir, la posición angular, el brillo aparente, su velocidad radial; en tanto que podemos tipificarlas por su composición química, variabilidad o su morfología si fuese un objeto extenso como una galaxia. Aquellos que no son observables, como, por ejemplo, el diámetro de una estrella, su masa, el brillo absoluto o luminosidad (cantidad de energía total emitida por unidad de tiempo) o la edad o el estado evolutivo en que se encuentra, deben determinarse por medios indirectos utilizando modelos teóricos o contrastando los resultados con otros modelos observacionales.

Si además de observarlas queremos *entender* qué son y cómo funcionan a partir de la información recogida, debemos *obtener un modelo para ellas*.

### Utilidad científica de una observación: sus restricciones

Para que una observación del cielo pueda considerarse de utilidad científica, debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Tener un objetivo bien determinado: por ejemplo, determinar la edad de un conjunto de cúmulos globulares a partir de las estrellas variables situadas en la rama horizontal de su diagrama HR. Esto requiere tener un buen conocimiento del tema en estudio y una buena justificación científica del proyecto.
- Tener una estrategia perfectamente establecida para la observación: por ejemplo, establecer la época del año más conveniente para realizarla; decidir desde qué lugar voy a realizar; elegir adecuadamente el telescopio y el instrumental accesorio, si se tomarán imágenes elegir el juego de filtros a emplear para obtener la información necesaria, seleccionar el detector adecuado; decidir la cantidad de imágenes mínimas que se deben tomar para asegurar la calidad de los resultados obtenidos; determinar la hora más adecuada para observar cada objeto; seleccionar los patrones de calibración; y varias cuestiones más que sería largo detallar aquí.
- Llevar registro de todo lo acontecido durante el proceso de observación: estimar la “calidad del cielo”; anotar si pasan nubes; registrar el momento en que se producen relámpagos producidos por tormentas lejanas o cercanas; fallas de algún instrumento, etc.
- La observación debe ser repetible: esto es necesario para poder corroborar los resultados en el caso de la aparición de datos discordantes, para determinar si las discordancias son intrínsecas a la naturaleza de los objetos estudiados o a errores instrumentales o de operación del observador.

- Las observaciones deben ser comparables, ya sea que se realizan en distintas épocas o distintos observadores: Para ello es necesario que la observación se haya llevado a cabo con equipamiento y métodos similares.

- Las observaciones son mediciones de alta precisión, su calidad puede cuantificarse mediante la relación señal/ruido (en inglés: *signal to noise relation* =  $S/N$ ), debe hacerse todo lo posible para que este valor sea lo mayor posible. Si  $S/N=1$ , el objeto es indetectable, es decir, no podemos distinguir la señal del ruido;  $S/N=3$ , estamos en el límite de la detectabilidad, -esto es un criterio generalmente aceptado- y podemos afirmar que hemos detectado la señal, pero no tenemos certezas en cuanto a la calidad de la información, contenida en ésta. En Astronomía, a veces hay que conformarse con lo que se tiene y conjeturar algunas conclusiones. En general lo ideal es que la  $S/N>10$ . Mientras más grande sea este número mayor será la confiabilidad de nuestros resultados.

- Se deben publicar sus resultados y conclusiones: esto es imprescindible en cualquier tipo de investigación. Por un lado, si los resultados o conclusiones no se publican, el trabajo carece de sentido; y por otro no pueden ser ni convalidadas ni descartadas las conclusiones por otros pares o expertos en la materia en cuestión.

Sin cuestionar los grandes esfuerzos para la obtención del valor de la Constante de Hubble<sup>16</sup>, que mide la velocidad de expansión del Universo. pueden verse las dificultades intrínsecas a esta medición en algunas de las consideraciones mencionadas en los párrafos de este apartado.

## La metodología de la Observación Astronómica

El objetivo principal de la observación de un astro es determinar algunos de los atributos que lo caracterizan. En tanto que la metodología de la

---

16 Información detallada sobre la Constante de Hubble puede verse en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Ley\\_de\\_Hubble-Lema%C3%A9tre#:~:text=El%20valor%20de%20la%20constante%20de%20Hubble%20y%20la%20edad%20del%20universo,-Durante%20el%20siglo&text=En%201956%2C%20Allan%20Sandage%20determin%C3%B3,muy%20cercano%20al%20valor%20actual.](https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Hubble-Lema%C3%A9tre#:~:text=El%20valor%20de%20la%20constante%20de%20Hubble%20y%20la%20edad%20del%20universo,-Durante%20el%20siglo&text=En%201956%2C%20Allan%20Sandage%20determin%C3%B3,muy%20cercano%20al%20valor%20actual.)

observación es el camino que debemos efectuar para encontrar los mencionados atributos. Para explicar este procedimiento *recurriré a un modelo* -creado por el autor- porque se lo explica en la nota al pie de página que se denomina: cadena de observación<sup>17</sup>. Está constituida por todos los instrumentos y procesos necesarios para realizar una observación astronómica. Merece destacarse que este modelo de la cadena de observación, es aplicable a cualquier disciplina científica que necesite realizar observaciones, aún las experimentales. La experimentación sin observación posterior a la realización del experimento sería inconducente.

Para su desarrollo nos apoyaremos en el concepto de *señal*, entendiendo como tal *toda acción que ocurre en un objeto dado que da indicio de su presencia en la naturaleza*. Las señales son tipificables, pero principalmente medibles.

Los astros o fenómenos celestes emiten señales de distinta naturaleza física, por ejemplo, las estrellas emiten radiación electromagnética en forma de luz, ondas de radio o partículas de alta energía en tanto que la interacción entre dos agujeros negros produce, entre otras cosas, ondas gravitacionales.

Las señales tienen *la importantísima propiedad de portar toda la información de las condiciones físicas imperantes en el lugar y momento en que se forman* y transportar información de todos los medios que atraviesa hasta llegar al observador. En Astronomía éstos son, dependiendo de la distancia a la que se encuentre nuestro objeto de estudio: el medio intergaláctico, el medio interestelar, el medio interplanetario y la atmósfera de nuestro planeta. Este último no cuenta si estuviésemos observando desde el espacio.

El siguiente esquema sintetiza el modelo de la Cadena de Observación, es decir el camino que debe recorrer la señal emitida por la entidad objeto de nuestro estudio para poder extraer de ella la información útil para establecer sus atributos.

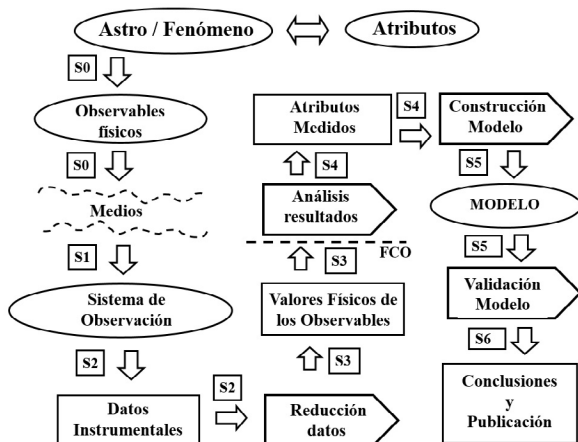
---

17 Este modelo fue desarrollado por el autor como herramienta didáctica para enfocar el tema de la observación astronómica en sus clases de la materia *Astrometría General* del 4º Año de la Licenciatura en Astronomía y el tema formación de imágenes de los cursos de la de las materias Imágenes I e Imágenes II de la Maestría en Análisis y Procesamiento de Imágenes (MAPI) de la Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación (FAMAF) de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, dictadas entre 1987 y 2016.

El esquema de la *cadena de observación*, (Fig. 5) debe interpretarse como un *diagrama de flujo de información* transportada por un *conjunto de señales* de diversa naturaleza que interactúa con los *instrumentos de observación* y que la someten a diversos *procesos* que permitan generar finalmente información confiable para comprender el objeto en estudio.

En la entrada del diagrama encontramos el objeto de nuestro estudio: *un astro o un fenómeno caracterizado por sus atributos* como lo indica la doble flecha, serán éstos, o una parte, los que pretendemos encontrar y medir con nuestra observación.

Para facilitar la comprensión vamos a suponer que la observación la vamos a realizar en el rango óptico y que el astro observado es una estrella. Ésta emite una señal electromagnética que se irradia a todo el espacio transportando, como se dijo más arriba, la información de las condiciones y procesos físicos existentes en el lugar y momento en que se originó esta radiación. Por simplicidad y dado que vamos a trabajar en el rango óptico podemos suponer que la estrella emite una señal luminosa. Una muy pequeña parte de esta luz,  $S_0$ , viaja en dirección al observador, por ser tan grande la distancia de la estrella al observador, la luz llega a éste en forma de un conjunto de “ondas planas” de diferentes longitudes de onda todas mezcladas. Esta señal toda mezclada porta la información sobre *los observables*, que son la parte de los atributos que llegan al observador.



**Figura 5.** Cadena de Observación. Créditos del autor.

Pero esta luz no llega directamente a nuestro *sistema de observación*, sino que en su viaje hacia el observador *atraviesa distintos medios* que la degradan quitándole información útil o agregando información espuria a la que le denominamos, genéricamente, como *ruido externo*, que se agrega al ruido intrínseco de la señal. Esta señal modificada, S1, aún de naturaleza electromagnética, es la que ingresa en nuestro sistema de observación. Éste está conformado por varios dispositivos o instrumentos que cumplen distintas funciones: desde coleccionar la señal y procesarla para extraer la información de los observables en forma de números que se denominan *datos instrumentales*. A la salida del sistema de observación la señal electromagnética se ha transformado en una señal numérica S2. Éstas cantidades están relacionadas con los valores físicos de los observables, pero no son éstos. Para obtenerlos debemos someter los datos instrumentales a un proceso denominado *reducción de las observaciones*, este proceso nos entrega una señal numérica, S3, que porta los *valores físicos de los observables o resultados de la observación*. Aquí formalmente termina la “cadena de observación”, línea de guiones FCO en la figura. Resulta conveniente mencionar que, si bien no se menciona explícitamente, el sistema de observación incluye la información técnica y modo de uso de los instrumentos que lo conforman. A partir de estos, mediante otro proceso denominado *análisis de los resultados* se obtienen finalmente los atributos. Tanto el proceso de reducción de datos, como el de su análisis caen fuera del alcance del presente trabajo, al igual que la elaboración de nuevos modelos o la contras-tación o complementación con otros ya existentes.

## **Comparación del Sistema Visual Humano con un Sistema de Observación Astronómico actual**

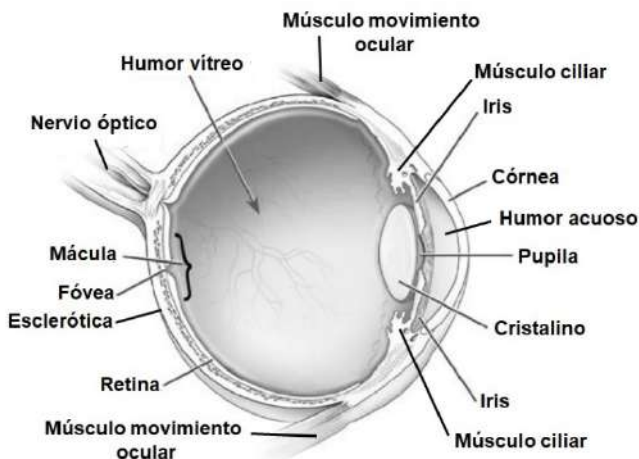
En este apartado se describirán con cierto detalle para su comparación, el sistema visual humano y el sistema de observación astronómico, desde los puntos de vista estructurales como funcionales.

Se describe, en primer lugar el sistema de visión humano<sup>18</sup>. Éste consta de dos partes bien diferenciadas como se dijo más arriba: los ojos y la

---

18 Sobre este tema se encuentra abundante literatura de diferentes niveles de profundidad en Internet, libros de Óptica. Por lo que no referiré ninguno en particular

corteza visual que está dentro del cerebro. Un corte transversal muestra las distintas estructuras funcionales del ojo o globo ocular (Fig. 6).



**Figura 6.** Corte transversal del ojo humano que muestra sus distintas partes. Adaptación del autor. Original: National Eye Institute.

El ojo está constituido por elementos estructurales, ópticos, detectores y musculares para sus movimientos:

- La *esclerótica*: elemento de forma casi esférica que constituye la mayor parte de la superficie más externa del ojo, se la ve de color blanco. Formado por un tejido fibroso muy resistente opaco a la luz que cumple, además una *función estructural* del ojo manteniendo su forma esférica, sirve de elemento sostén y albergue de las partes ópticas. La cavidad interior constituye una cámara oscura.

- La *córnea*: éste es el primer elemento del sistema óptico del ojo, se forma sobre la parte de la esclerótica que da al exterior de éste, allí el tejido fibroso se transforma en un medio transparente de muy alto índice de refracción formando un casquete esférico de caras parale-

las, que actúa como un “menisco convergente”, éste hace las veces de lente frontal de la óptica del ojo que refracta en forma convergente al interior toda la luz que le llega. A continuación de la córnea existe una cámara -cámara anterior- llena de un líquido transparente “el humor acuoso” que no desempeña función óptica alguna por ser su índice de refracción muy próximo a 1, permite mantener la forma esférica de la córnea.

- El *iris*: define el fondo de la cámara anterior, es una membrana coloreada de forma circular con un agujero -también circular- en su centro que permite el paso de la luz al interior del ojo, al que se denomina *pupila* cuyo diámetro es variable disminuyendo o aumentando automáticamente su diámetro de acuerdo a la mayor o menor cantidad de luz que llega al ojo. Desde el punto de vista estrictamente óptico constituye un *diafragma*, elemento óptico que determina el tamaño del haz luminoso que entra en un instrumento óptico, por ejemplo, el diafragma en una cámara fotográfica.

- El *crystalino* es una lente biconvexa de distancia focal o potencia variable que nos permite enfocar nuestro ojo sobre objetos cercanos a objetos muy lejanos (enfoque al infinito). Es el encargado de formar imágenes sobre su superficie focal ubicada en la cara posterior interna del globo ocular. Está constituido por un tejido transparente de alto índice de refracción muy elástico que cambia su capacidad de enfoque modificando su curvatura por la acción de los músculos ciliares.

- El *humor vítreo*: está constituido por un gel, que llena la cámara oscura y que tampoco cumple función óptica alguna, sino que sirve para mantener fijo contra el fondo el detector de luz del sistema visual.

- La *retina*: es el *detector* de luz del ojo, es un detector instantáneo y no tiene capacidad de acumular información, está constituida por células especializadas llamados conos y bastoncillos. Su principio de funcionamiento es fotoquímico variando la concentración de rodopsina<sup>19</sup> de acuerdo a la cantidad de luz que reciben. Es la molécula espejo de

---

19 Ver mayores detalles en: <https://chemevol.web.uah.es/wp/rodopsina/>

la clorofila. Cada una de éstas fotocélulas constituye un “pixel” de la imagen que interpreta el cerebro. La retina recubre gran parte de la cámara ocular coincidiendo con la superficie focal del sistema óptico córnea-cristalino. Existen tres tipos de conos diferentes con sensibilidades a los colores primarios, trabajan con altos niveles de luz. Las células fotodetectoras no se encuentran distribuidas uniformemente en la retina y se agrupan en una zona denominada *mácula*, principalmente en la región central de ésta, denominada *fóvea* la cual está formada únicamente por conos, por donde pasa el eje óptico del sistema. Es la zona del ojo que tiene la mayor resolución espacial. Los bastoncillos son más sensibles a la luz azul, se sitúan hacia las regiones más periférica de la retina, son los que sirven para la visión nocturna. La información luminosa es convertida en impulsos eléctricos que son enviados a la corteza visual a través de los axones de las células fotorreceptoras.

- *Movimiento ocular*: los ojos también cuentan con un conjunto de músculos que permiten su movimiento en dos coordenadas, simultáneamente y de la misma manera para ambos ojos para direccionar la visión al objeto de interés.

A continuación, se describe un sistema de observación astronómico moderno para poder comparar con el sistema de visión humana, supondremos que trabajamos en el “rango óptico” del espectro electromagnético, que va desde el UV cercano, pasando por la región visible y alcanza al IR medio.

El sistema de observación consta de las siguientes partes:

- *El colector o telescopio*: Es el primer dispositivo con el que se encuentra la radiación que llega al Sistema de Observación. Consta de dos partes bien diferenciadas: una es una estructura mecánica metálica muy rígida, con forma de tubo, llamado el “tubo del telescopio”, su función es mantener fijamente unidas los distintos elementos ópticos que contiene y los instrumentos periféricos. El tubo está a su vez vinculado al piso también estructura mecánica metálica muy rígida y fuerte que sostiene al tubo, se denomina la “base del telescopio”, ésta a

su vez está apoyada en la roca subyacente existente en el lugar en que se instala el telescopio para evitar vibraciones. La otra parte consiste en un conjunto de espejos o lentes o una combinación de ambos tipos de piezas ópticas, vinculados mecánica y rígidamente por el tubo del telescopio, constituyendo su “sistema óptico” que es la parte que efectivamente cumple genéricamente hablando la función de coleccionar la radiación. De acuerdo a su configuración óptica queda definida la “pupila de entrada”, tiene como función captar la señal luminosa, dirigirla y enfocarla en su plano focal, por este motivo lo denominamos *el colector*. El primer elemento óptico al que llega la luz se denomina “objetivo”, si se trata de un telescopio refractor (que funciona con lentes) y si se trata de un reflector (que funciona con espejos) se denomina “espejo primario”. Si bien los telescopios trabajan enfocados al infinito, debido a dilataciones del tubo, no siempre el plano focal coincide con la posición del lugar dónde se deben colocar los instrumentos denominado “plano de trabajo por lo que existe un *sistema de enfoque* que desplaza el plano de trabajo hasta hacerlo coincidir con el plano focal, en la actualidad esta operación de enfoque se realiza automáticamente durante la observación. El “plano focal” es el lugar sobre el cual convergen los rayos luminosos colectados y es el lugar dónde se deben colocar los instrumentos que deben procesar la señal colectada, estos instrumentos suelen denominarse “periféricos” ya que no forman parte del telescopio, éstos pueden ser cámaras para formar imágenes, espectrógrafos, interferómetros, etc. Los modernos telescopios disponen de sistemas automáticos que compensan las deformaciones del tubo del telescopio (ópticas activas)<sup>20</sup> y sistemas que compensan las deformaciones del frente de ondas, denominado “*seeing astronómico*”, que llegan al telescopio (ópticas adaptativas)<sup>21</sup> causadas por la turbulencia atmosférica que disminuye la resolución espacial -dimensión del mínimo detalle- que se puede distinguir en la imagen. Los telescopios también están dotados de un *sistema de movimientos*, mecanismo de gran precisión para mover el tubo de manera que permita el apuntado preciso del telescopio a cualquier punto del cielo visible moviéndolo angularmente en algún tipo de coordenadas celestes.

20 Más detalles ver: [https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%93ptica\\_activa](https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%93ptica_activa)

21 Más detalles ver: [https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%93ptica\\_adaptativa](https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%93ptica_adaptativa)

Una vez apuntado el objeto en estudio debe poder moverse de manera que éste mantenga fija su posición en el plano focal, para ello se requiere poder compensar el movimiento de rotación de la Tierra mientras dure la observación, que se controla mediante un reloj de muy alta precisión, por ejemplo, un reloj atómico de cesio. El sistema de movimientos incluye los dispositivos que dan la posición del telescopio en cada instante que sirven para compensar posibles apartamientos en forma automática.

– *Codificadores o analizadores de radiación*: son diferentes aparatos, llamados así, porque tienen la capacidad para ordenar la señal electromagnética recibida que llega toda mezclada, según algún principio físico. Estos aparatos deben instalarse en el plano focal del telescopio. Un primer ejemplo: para tomar imágenes se emplean cámaras con detectores fotosensibles anteponiéndole filtros coloreados según algún sistema fotométrico estándar que nos da idea de la cantidad radiada en cada color por el objeto en estudio, por caso si en la imagen de una estrella predomina el color azul y en otra el rojo, podemos concluir que la estrella azul es mucho más caliente que la roja. Otro ejemplo son los primeros espectrógrafos ordenaban la radiación basándose en la dispersión producida por un prisma que tiene la capacidad de ordenar la radiación angularmente debido a la dependencia de la refracción de la luz con el índice de refracción que varía con la longitud de onda de ésta. Los más actuales ordenan la radiación también angularmente, pero se basan en “redes de difracción”, alcanzando mayor “resolución en longitudes de onda o resolución espectral” lo que permite conocer con mayor precisión su composición química o medir su “velocidad radial”. Otros periféricos pueden mencionar los polarímetros que sirven para determinar el ángulo de polarización de la radiación incidente, lo que permite conocer la constitución del medio interestelar entre una estrella observada y nosotros; o los interferómetros que alcanzan una resolución espectral muchísimo mayor que los espectrógrafos arriba mencionados. Debe tenerse en cuenta que todos estos periféricos se valen de una cámara detectora para acceder a la señal de salida que entregan. Si quisiéramos vislumbrar el ordenamiento de la radiación con el ojo, los prismas o filtros debieran colocarse delante de éste, aunque los resultados obtenidos serían meramente demostrativos.

– *Detectores*: Se denominan así a todos los dispositivos capaces de captar la señal electromagnética, ubicado en el plano focal del sistema óptico o a la salida de los aparatos codificadores. El primer detector astronómico fue sin duda la retina del ojo, como se mencionó arriba. En el año 1850 se agregó a la observación visual la placa fotográfica que tuvo vigencia hasta fines de la década del 80 del siglo pasado. Ésta fue el primer detector integrador o sea con capacidad de ir acumulando durante un determinado tiempo la señal que le llegaba permitiendo ver objetos débiles imperceptible para el ojo. También la válvula foto-eléctrica, un detecto instantáneo, tuvo un rol preponderante entre los detectores astronómicos desde comienzos del siglo XX. A partir de la mencionada década se impusieron los modernos detectores de estados sólido que tienen la capacidad acumular información en forma de cargas eléctricas, están constituidos por un gran número de fotodetectores individuales -denominados “píxeles”- distribuidos uniformemente en una matriz rectangular; cuando se les extrae la información almacenada en cada pixel entregan una señal eléctrica secuencial en forma de pulsos con niveles acordes a cantidad de carga almacenada de reflejando la cantidad de luz recibida, esto equivale a tener una señal muestreada espacialmente, que luego es convertida en números. Los detectores más utilizados en astronomía son los denominados CCDs (*coupled charge device*) por entregar una señal de muy bajo ruido. Las cámaras de los teléfonos celulares tienen también sensores de estado sólido, pero de tecnología de lectura diferente a los CCD.

– El *cuantificador*: es el dispositivo que convierte la señal proveniente del detector en números, esta tarea la realiza un circuito integrado denominado “conversor analógico-digital” -ADC: *analog to digit converter*- en inglés. Son capaces de diferenciar hasta 65335 niveles de grises entre el blanco y el negro.

– El *registrador*: consiste en un dispositivo de almacenamiento masivo de datos capaz de almacenar los datos numéricos provenientes del cuantificador, por ejemplo, la memoria de una computadora. Estos datos pueden visualizarse como una imagen en su pantalla.

## Conclusiones

Tanto el sistema visual como el sistema de observación constan de partes estructurales de sostén: el globo ocular y el tubo del telescopio, que cumplen funciones similares: mantener armado el sistema.

Ambos constan de un sistema óptico con capacidad de formar imágenes.

Ambos cuentan con detectores fotosensibles, en el caso humano este está integrado al ojo, en tanto que en el astronómico es un elemento externo al telescopio. La retina es un detector de respuesta instantánea, en tanto que los detectores astronómicos son integradores. Los píxeles de la retina son células. En tanto que, los de los detectores astronómicos son materiales semiconductores. Sus fotodetectores se encuentran regular y uniformemente distribuidos en su superficie cosa que no ocurre en la retina.

Ambos cuentan con dispositivos “cuantificadores”, en el caso del ojo no produce un número, pero es capaz de hacer estimaciones cualitativas. En el sistema humano esta función la ejercen un conjunto de células especializadas del cerebro. En el sistema astronómico, este dispositivo cuantificador se encuentra integrado al detector.

Ambos cuentan con sistema de registro, en el sistema humano está dentro del cerebro donde el almacenamiento se produce en las interconexiones de las neuronas de la memoria. En cambio, en el sistema astronómico generalmente los datos son almacenados en la memoria de una computadora o en un dispositivo de almacenamiento masivo de datos externo a esta.

De todas maneras, puede concluirse que un sistema de observación astronómica emula el sistema de visión humano.

## Bibliografía

Bozzoli, M. (2019). *El rol de los instrumentos y la simulación en la observación astronómica contemporánea: un enfoque epistemológico*. Tesis Doctoral. Córdoba: Facultad de Filosofía y Humanidades, Universidad Nacional de Córdoba.



- Bunge, M. (1960). *La ciencia, su método y su filosofía*. Buenos Aires: Siglo Veinte.
- Bunge, M. (1969). *La investigación científica. Su estrategia y su filosofía*. Barcelona: Ariel.
- De Vaucouleurs, G. (1957). *Discovery of the Universe: An Outline of the History of Astronomy from the Origins to 1956*. Nueva York: Macmillan Company.
- Dreyer, J. L. E. (1953). *A History of Astronomy from Thales to Kepler*. New York: Dover Publications, Inc.
- Doig, P. (1950). *A Concise History of Astronomy*. London: Chapman & Hall, Ltd.
- Evans, J. (1998). *The History and Practice of Ancient Astronomy*, Nueva York-Oxford, Oxford University Press.
- King, H. C. (1955). *The History of the Telescope*. New York: Dover Publications, Inc.
- Kitchin, R. C. (2003). *Astrophysical Techniques*. Philadelphia: IOP Publishing Ltd.
- Koestler, A. (1959) *A history of man's changing vision of the universe*. Macmillan, New York.
- Marshall D. (2019). *Ancient Skies: Constellation Mythology Of The Greeks*. Highbridge Audio and Blackstone Publishing
- Miczaika, G. R.; Sinton, W. M. (1961). *Tools of the Astronomer*. Cambridge: Harvard University Press.
- McLean, S. I. (2008). *Electronic Imaging in Astronomy: Detectors and Instrumentation*. Berlin: Springer.

- McLean, S. I. (2013). *Planets, Stars and Stellar Systems: Telescopes and Instrumentation*. T. D. Oswalt (ed.), Vol 1. Dordrecht: Springer.
- Neugebauer, O. (1975). *A History of Ancient Mathematical Astronomy*. Berlin: Springer.
- Neugebauer, O. (1983). *Astronomy and History: Selected Essays*. Nueva York: Springer.
- Pannekoek, A. (1961). *A History of Astronomy*. New York: Dover.
- Roy, A. E.; Clarke, D. (2003). *Astronomy: Principles and Practice*. New York: CRC Press.
- Schroeder, D. J. (2000). *Astronomical Optics*. San Diego: Academic Press.
- Walker G. (1987). *Astronomical Observations*. Cambridge University Press.
- Wallis D.A, (2005). *8th International Conference for Global Spatial Data Infrastructure (GSDI-8)*. El Cairo, Egipto
- York, G. D., Gingerich, O., Zhang, N-S. (2012). *The Astronomy Revolution: 400 Years of Exploring the Cosmos*. New York: CRC Press.