

**Consideraciones en torno a la elaboración de modelos sobre la posición
y movimiento del Sol y la Luna en la enseñanza de la Astronomía.**

Oscar J. Cardona Lara

Asesora

Liliana Tarazona Vargas

Universidad Pedagógica Nacional

Facultad de Ciencia y Tecnología

Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales

Bogotá 2020

Para todos los efectos, declaro que el presente trabajo es original y de mi total autoría: en aquellos casos en los cuales he requerido del trabajo de otros autores o investigadores, he proporcionado los respectivos créditos.

“¿De qué sirve (...) la astronomía? (...) A partir de las cosas que con los ojos vemos que existen, nos dirigamos a las causas por las que existen y ocurren”.

Johannes Kepler (como se cita en Rioja y Ordoñez, 1999).

Agradecimientos:

A la Maestra Liliana Tarazona por su orientación como asesora de este trabajo, sus continuas preguntas y observaciones que ayudaron a enriquecer y dar forma conceptual al mismo, y más importante, por su continua, paciente e infatigable invitación a la reflexión sobre mí hacer como maestro en los diferentes espacios de la M.D.C.N .

A la Maestra Rosa I. Pedreros por las primeras contribuciones a este trabajo y por compartir en los seminarios cursados con ella, su curiosidad y reflexión por los eventos físicos que ocurren en nuestro entorno, y las formas de hablar sobre esos fenómenos.

A mis Padres Alba y Oscar.

A mi madre por su apoyo incondicional, por darme esperanzas y ánimos en los buenos y malos tiempos, mis profundos agradecimientos por ser mi Maestra; a ella dedico este trabajo.

A mi padre por transmitirme su pasión por el “saber hacer”, por la búsqueda de explicaciones del mundo físico a través de las ciencias naturales, y por algunas discusiones que han enriquecido mi visión del universo.

Y al Ser que nos puso en este “pálido punto azul”, quien a mi parecer gusta de ofrecernos más preguntas que respuestas. A Él, las gracias por un Cosmos para observar, interrogar, comprender y explicar.

Contenido

Presentación.....	7
1. Contexto Problemático	9
1.1. Ciencia en la escuela.....	9
1.2. La astronomía y su enseñanza.....	12
1.3. Los instrumentos en la enseñanza de la Astronomía	19
1.4. Pregunta de Investigación	20
2. Antecedentes.....	22
2.1. Investigaciones sobre enseñanza de la Astronomía	22
2.1.1. El papel del estudiante en la enseñanza de la astronomía.	22
2.1.2. La Astronomía como punto de encuentro.....	24
2.2. Investigaciones sobre el uso de modelos relacionados con la posición y movimiento del Sol y de la luna	25
2.2.1. Modelos del sistema Tierra-Sol-Luna en la enseñanza de la astronomía...26	
2.2.2. Actividades didácticas en torno a la construcción de modelos	26
2.3. Aportes del trabajo a la enseñanza de la astronomía en torno a la posición y movimiento de la luna.....	28
3. Referente Teóricos y Metodológicos: Modelo y Construcción de Modelos en la Enseñanza de las Ciencias	30
3.1. Modelo y Ciencia.....	30
3.1.1. Modelo en el contexto de la ciencia	31
3.1.2. Los modelos explicativos de los individuos	36
3.2. Construcción de modelos en la enseñanza de las ciencias.....	41
3.3. Consideraciones Metodológicas	46
4. Modelos Históricos en Torno a la Posición y Movimiento de los Cuerpos Celestes....	51
4.1. Modelo Griego.....	51
4.1.1. Problema abordado por el modelo griego.....	52
4.1.2. Marco teórico del modelo griego.....	58
4.1.3. Instrumentos astronómicos del modelo griego.....	61
4.1.4. Limitaciones del Modelo Griego.....	65
4.2. Modelo de Ptolomeo	65
4.2.1. Problema abordado por el modelo ptolemaico	66
4.2.2. Marco teórico del modelo de Ptolomeo.....	68
4.2.3. Instrumentos astronómicos del modelo ptolemaico	70

4.2.4. Limitaciones del modelo Ptolemaico	75
4.3. Modelo de Copérnico.....	76
4.3.1. Problema abordado por el modelo Copérnico	77
4.3.2. Marco teórico del modelo de Copérnico	83
4.3.3. Instrumentos astronómicos del modelo Copernicano.....	86
4.3.4. Limitaciones del modelo de Copérnico	88
4.4. Modelo de Kepler	89
4.4.1. Problema abordado por el modelo de Kepler	90
4.4.2. Marco teórico del modelo de Kepler	97
4.4.3. Instrumentos astronómicos del modelo de Kepler.	99
4.4.4. Limitaciones del modelo de Kepler.....	103
4.5. Síntesis de los modelos históricos.	103
5. Resultados: Consideraciones y Propuesta De Aula.....	106
5.1. Consideraciones Pedagógicas	106
5.1.1. La experiencia y la pregunta en la construcción de modelos	106
5.1.2. Comparación y discusión de explicaciones construidas en el aula	110
5.1.3. Los modelos como construcción compartida	112
5.2. Consideraciones Epistémicas.....	114
5.2.1. Comprensión y elaboración de explicaciones en torno al fenómeno	114
5.2.2. Abstracción, simplificación y representación del objeto de estudio	117
5.2.3. El contexto social en los modelos	121
5.3. Consideraciones Disciplinarias	123
5.3.1. Identificación y descripción de los cambios de posición del Sol y luna. ..	123
5.3.2. Observación a través de instrumentos	126
5.3.3. Organización de los datos.....	128
5.4. Síntesis de las consideraciones	130
5.5. Diseño de la propuesta.....	132
5.5.1. Fase 1: Identificación y contextualización del problema de estudio	134
5.5.2. Fase 2: Experiencias en torno al objeto-evento de estudio.....	136
5.5.3. Fase 3: Construcción del modelo	145
5.5.4. Fase 4: Socialización de las explicaciones	151
5.5.5. Un posible nuevo punto de partida.....	154
6. Reflexiones Finales	159

6.1. Preocupaciones personales en torno a la enseñanza de la astronomía.....	159
6.2. Desarrollo del trabajo y de la propuesta de aula.	160
6.3. Aportes del trabajo a la enseñanza de la Astronomía	161
6.4. Papel del maestro en la enseñanza de la Astronomía	163
6.5. Líneas de investigación que se derivan de este trabajo.....	165
Bibliografía.....	167
Anexos.....	177
Anexo 1: Antecedentes trabajos en torno a la enseñanza de la astronomía	177
Anexo 2 Sistema de coordenadas Celestes.....	185
Anexo 3: Recursos de apoyo para la propuesta de aula.	189

Presentación

La enseñanza de las ciencias plantea retos en la medida que la sociedad experimenta cambios rápidos en términos del desarrollo científico y tecnológico, y como efecto se modifican las formas de interactuar con esos cambios. Producto de esa situación, se siente la continua necesidad de tener en cuenta, e incluso de actualizar los saberes y habilidades que ayudan a desempeñarse en los diferentes ámbitos de la sociedad, en la medida que lo exigen los diferentes espacios sociales en los que se desenvuelven sus integrantes. Una de esas habilidades es la comprensión y organización de lo que sucede en el entorno, en el que se encuentran inmersos los individuos, y la comunicación mediante la cual se comprende y comparte con otros lo que se aprende del entorno (Millar y Osborne, 1998).

Teniendo en cuenta lo anterior, la educación en ciencias adquiere diferentes miradas, entre ellas la educación para la toma de decisiones, para la productividad, o centrada en que el sujeto comprenda su estar y ser en la naturaleza, que será la mirada a la que se apunta con este trabajo. Siguiendo esa idea, uno de los propósitos de la enseñanza de la Astronomía es proporcionar condiciones que le permitan al estudiante, comprender y establecer sus relaciones con su entorno físico y natural, de forma que en el futuro, el estudiante asuma una postura crítica frente al mundo que le rodea (Basto, 2018).

En ese sentido, es necesario ofrecer alternativas de enseñanza que ayuden a los estudiantes a fortalecer actitudes propositivas frente a la comprensión de su entorno, por medio de la construcción de modelos mediante los cuales, describan y expliquen objetos y lo que sucede con esos objetos en la naturaleza. Y adquieran destrezas en la comprensión y descripción del espacio físico como una aptitud necesaria para describir su entorno. Y la Astronomía se ha constituido en un espacio que ayuda a desarrollar esas habilidades en los estudiantes.

La enseñanza de la Astronomía permite explorar y profundizar en las formas de ver el mundo en diferentes momentos de la historia, los modelos que surgieron e hicieron posible comprender y organizar esa forma de ver el mundo. Y como consecuencia de lo anterior, ayudaron a los astrónomos a formular explicaciones que ayudaron a otros individuos, no solo comprender para sí los eventos celestes, también propició que otras personas cuestionaran los modelos aceptados y proponer nuevas formas de organizar y explicar la posición y movimiento de los cuerpos celestes. Y ayuda a entender como

algunos de esas formas de organizar los eventos, aún se conservan en la actualidad debido a su valor práctico.

Los trabajos consultados en esta investigación, presentan diferentes posibilidades didácticas para abordar la educación en Astronomía desde una mirada participativa para el estudiante. Dichos trabajos muestran las diferentes estrategias pedagógicas y didácticas para hacer de la enseñanza de la Astronomía, una oportunidad para la reflexión crítica, y la manifestación de diferentes formas de comprender el mundo natural. Interesa en este trabajo, contribuir a esas propuestas en dos sentidos: primero, ampliar el marco de propuestas para la enseñanza de la Astronomía, reconociendo el papel que juegan los modelos que elabora el estudiante como los que aborda el maestro. Con ello se pretende mostrar otras formas de enseñar la Astronomía que trascienden de las prácticas que priorizan el saber contenido en los textos o poseído por el maestro. Y por otra parte, a partir de una dificultad encontrada en diferentes trabajos, como en las practicas del autor de este trabajo de grado en torno a las actividades de observación y registro elaborado por los estudiantes en dichas actividades, ofrecer al maestro interesado en la enseñanza de la Astronomía, una propuesta centrada en reconocer la importancia de la construcción de modelos como un enfoque que ayuda a los estudiantes a desarrollar habilidades en la elaboración de explicaciones que surgen en torno a la posición y movimiento del Sol y la Luna por el firmamento.

A partir de lo expuesto en el anterior párrafo, interesa plantear criterios o consideraciones de orden pedagógico, epistemológico y disciplinar, que surgen de la profundización sobre referentes teóricos y metodológicos. Y con base en estas consideraciones, proponer un conjunto de actividades para abordar con estudiantes de educación básica primaria, el tema de la posición y el movimiento del Sol y de la luna. Este diseño se propone como alternativa para que los maestros tengan elementos de apoyo que les ayude en la selección, rediseño e implementación de actividades, mediante las cuales, los estudiantes se acerquen a la construcción de modelos que describan la posición y el movimiento del Sol y de la luna. El documento que compila el diseño de actividades realizado, se encuentra disponible en una publicación digital, al cual se puede acceder a través del siguiente enlace:

https://issuu.com/oscardonald/docs/propuesta_actividades_astronomia

1. Contexto Problemático

El presente trabajo surge de la identificación de unas condiciones que se hacen presentes en la enseñanza de la Astronomía y que pueden ser agrupados en unos aspectos específicos desde los cuales se plantea la problemática que orienta esta investigación. Estos aspectos son la ciencia en la escuela, la astronomía y su enseñanza, y el uso de instrumentos astronómicos en la escuela.

1.1. Ciencia en la escuela

Sin lugar a dudas, la enseñanza de las ciencias implica para el maestro superar diversos retos muy presentes en la escuela. Entre estos desafíos, están el continuo avance de la tecnología, y las condiciones sociales, culturales y económicas, que presentan unas dinámicas muy complejas y difíciles de predecir. Estas condiciones afectan al contexto local de la escuela, como institución social, y a cada uno de sus integrantes, entre ellos los estudiantes y el maestro. Una preocupación frecuente es sobre qué sentido debe tener la enseñanza de las ciencias, y derivado de ello, los objetivos de enseñar ciencias en la escuela.

Justi (2006) señala los siguientes objetivos de la enseñanza de las ciencias:

- aprender ciencia: el estudiante esté en condiciones de desarrollar conocimientos teóricos y conceptuales
- aprender sobre ciencia: la comprensión sobre la naturaleza de la ciencia, y las interacciones de ésta con la sociedad y la tecnología
- hacer ciencia: la participación en la resolución de problemas científicos.

La intención de esos objetivos es que los estudiantes se acerquen a las formas de pensar e investigar en ciencias (Justi, 2006: p 174). En ese orden de ideas, la escuela es uno de varios espacios en los que el estudiante aprende algo sobre el entorno que lo rodea. Pero en el aula, todavía se encuentran prácticas y secuencias didácticas, donde las ciencias se presentan y enseñan haciendo énfasis en los contenidos teóricos y por tanto giran en torno a transmitir conceptos científicos a los que se les atribuye un carácter absoluto y verdadero, dejando de lado la construcción de los mismos (Basto, 2018; Guerrero, 2015; Palomar, 2013; Pozo y Gómez, 1998). Bajo esta perspectiva, la imagen de la ciencia que se favorece es considerar a ésta, como un conjunto de descubrimientos y

leyes acabados de la naturaleza, frente a los cuales el estudiante debe reproducir ese conocimiento (Pozo y Gómez, 1998).

Lo anterior muestra, que el maestro y el estudiante parecen limitarse a perpetuar actividades, donde las representaciones del maestro sobre las ciencias y un conjunto de saberes formales se privilegian, mientras que los estudiantes, sus ideas y saberes que ellos ya poseen y pueden adquirir, son objeto de comparación con rubricas que verifican si ha aprehendido de forma correcta ese conjunto de saberes expuesto por el maestro (Pozo y Gómez, 1998). Producto de dicha situación, es frecuente la escasa preocupación por encontrar formas de enseñar las ciencias en torno a la comprensión y organización de los eventos que suceden en la naturaleza y por tanto, de establecer lineamientos que ayuden a la enseñanza de las ciencias, que sean pertinentes a las necesidades de los estudiantes y que les ayude a comprender su entorno físico de forma significativa para ellos. O en otros casos, se aplican actividades que aunque puedan ser anunciados como novedosos, o hacen uso de recursos tecnológicos llamativos, los argumentos y referentes pedagógicos que los fundamentan no han sido objeto de cuidadosa revisión.

En este trabajo se entiende que la ciencia (ciencias naturales) es una actividad de orden intelectual, que en su esfuerzo por comprender el entorno físico, desarrolla múltiples actividades de construcción de conocimientos sobre aquello que estudia (la naturaleza). Una de esas formas de construir conocimiento es a través de la construcción de modelos (o modelización) mediante los cuales, se describen, explican y establecen relaciones entre sobre un objeto natural y anticipan comportamientos físicos de ese objeto en el entorno natural (Justi, 2006). Mediante estos modelos, un individuo da sentido a la realidad objetiva en que se encuentra inmerso, configurando para si una realidad subjetiva, que en cierto modo es compartida y configurada con otros individuos, dando lugar a una realidad intersubjetiva durante la construcción social de diferentes formas de ver interpretar el entorno natural (Elkana, 1977).

Siguiendo la anterior idea, la enseñanza de las ciencias en la escuela dejaría de ser un sitio pasivo, que presenta las ciencias como algo que yace solo en los libros y que demanda condiciones difíciles de alcanzar para su lectura y práctica. Esta pasaría a constituirse en un espacio participativo en el que las actividades de construcción de modelos ayudarían a comprender los eventos que se suceden en el entorno (Justi, 2006). El papel del maestro es proporcionar a los estudiantes, actividades y situaciones para que

dialoguen en forma conjunta y construyan modelos sobre objetos y eventos concretos que se observan en su entorno. Como consecuencia, se favorece la transformación cultural de su contexto, en el que tanto estudiantes como maestros asumen la construcción conjunta de saberes en torno a las representaciones que hace la ciencia de la naturaleza (Valencia, Méndez y Jiménez, 2006).

Por lo tanto, es necesario buscar y definir un conjunto de consideraciones que puedan orientar el diseño de actividades de aula en la enseñanza de las ciencias desde un enfoque centrado en los modelos y su construcción. Dichas consideraciones deben ser producto de la revisión histórica y metodológica en torno a la construcción de modelos, y los modelos históricos que han permitido explicar el mundo la naturaleza. Y esa revisión tendrá como producto, unos aspectos desde los cuales reflexionar y orientar la práctica del maestro.

En el presente trabajo de grado se opina que esas consideraciones deben ser de orden pedagógico, disciplinar y epistémico. Las consideraciones pedagógicas orientan las acciones del maestro en el proceso de enseñanza, de tal forma que se proporcionen situaciones idóneas para que los estudiantes elaboren modelos que les ayude a establecer relaciones entre los saberes construidos desde su experiencia individual con su entorno, por medio de la puesta en escena de esos saberes y la vivencia de nuevas interacciones con los objetos de su entorno que son estudiados. Las consideraciones epistémicas, ofrecen referentes a el maestro para que se interrogue y profundice el cómo se construye el conocimiento en torno a un evento natural que es objeto de estudio, las preguntas, marco teóricos y contextos históricos y sociales bajo los cuales se concibió un modelo específico. Y a partir de esos elementos, orientar las actividades dentro del aula, privilegiando el contexto social de los estudiantes y su saber y experiencia como agente activo en la construcción de explicaciones sobre eventos de su entorno. Y las consideraciones de orden disciplinar, permiten al maestro identificar y reconocer los alcances y limitaciones propias de las actividades, conceptos, preguntas, explicaciones, eventos naturales estudiados, entre otros, cuando se aborda un evento objeto de estudio con los estudiantes. También reasigna un papel a los conceptos científicos, que dejan de ser objeto de memorización en la enseñanza de las ciencias, para constituirse en herramientas desde las cuales tanto el maestro como el estudiante explican eventos de su entorno.

1.2. La astronomía y su enseñanza

La observación del firmamento y el seguimiento de los eventos que allí transcurren, ha sido un rasgo de la actividad humana y de su intelecto, y por tanto, común a diferentes culturas, sin importar si entre ellas están cercanas o separadas en el espacio o en el tiempo. En otras palabras, “la bóveda celeste es el primer objeto de observación sistemática considerado por la humanidad” (Ten y Monrós, 1984). Esa observación sistemática ayudo a seguir la regularidad de diversos eventos en la Tierra (estaciones, temporadas de lluvia-sequia), y construir relaciones que derivaron en conocimientos que contribuyeron a que las sociedades aumentaran su complejidad, en términos de la organización de diferentes actividades sociales (agricultura, economía, religión, etc.). A su vez, el conocimiento experimentó un proceso de cambio, que en sus inicios estaba conformado por explicaciones de la naturaleza fundamentadas en narraciones mitológicas socialmente aceptados¹, a dar paso a nuevas explicaciones sustentadas en las diferentes visiones del mundo, caracterizadas por empezar a dejar atrás la mayoría de creencias míticas-religiosas, que quedaron relegadas respecto a otros argumentos lógicos (o eso se esperaba). Ejemplo de ello son los modelos geocéntrico y heliocéntrico en sus primeras construcciones, que más adelante se desarrollan. Y finalmente, se encuentran las actuales explicaciones que se fundamentan en la observación, el registro, la comparación, la descripción formal (matemática-física) y la predicción a partir de esas formalidades numéricas. En consecuencia y como producto de esa organización no solo de la sociedad, sino también de las observaciones y de las explicaciones formuladas en torno a los eventos que se suceden en el cielo, se constituyó la Astronomía como una disciplina que tiene como objeto, el estudio de los cuerpos celestes y los principios físicos que describen la posición y movimiento de dichos cuerpos y sus causas (Rojas, 2013; Bakulin y Moroz, 1987).

La enseñanza de la Astronomía, busca fortalecer en los estudiantes la comprensión de los eventos que suceden en el firmamento y la relación de estos eventos con el entorno que les rodea. Frente a ellos se pueden encontrar algunos lineamientos que

¹ Por ejemplo, los egipcios creían que el cuerpo de la diosa Nut, describía una forma abovedada y constituía el firmamento. Y describían el movimiento del sol con el dios Ra, quien recorría la espalda de la diosa Nut (Rioja y Ordoñez, 1999).

se plantean en la enseñanza de la astronomía, que apuntan a lograr lo mencionado. El Ministerio de Educación Nacional (2004) propone en los estándares de competencia en ciencias naturales, un conjunto de contenidos temáticos distribuidos en los diferentes grados (véase tabla 1), de los cuales se infiere que hay un interés por que los estudiantes registren movimientos, nombren y describan los objetos celestes, en términos de sus características y cualidades.

Tabla 1: Contenidos sobre astronomía, propuestos por el MEN (2004)

Grados	Contenido Temático sobre Astronomía
1 a 3	<ul style="list-style-type: none"> Registro el movimiento del Sol, la Luna y las estrellas en el cielo, en un periodo de tiempo.
4 a 5	<ul style="list-style-type: none"> Describo los principales elementos del sistema solar y establezco relaciones de tamaño, movimiento y posición. Comparo el peso y la masa de un objeto en diferentes puntos del sistema solar. Describo las características físicas de la Tierra y su atmósfera. Relaciono el movimiento de traslación con los cambios climáticos.
6 a 7	<ul style="list-style-type: none"> Explico el modelo planetario desde las fuerzas gravitacionales. Describo el proceso de formación y extinción de estrellas. Relaciono masa, peso y densidad con la aceleración de la gravedad en distintos puntos del sistema solar.
8 a 9	No hay contenido asociado a la astronomía
10 a 11	<ul style="list-style-type: none"> Relaciono masa, distancia y fuerza de atracción gravitacional entre objetos. Establezco relaciones entre el modelo del campo gravitacional y la ley de gravitación universal.

Fuente: Elaboración propia.

También se encuentran propuestas que buscan condensar tanto las temáticas a considerar en la enseñanza de la astronomía, como incorporar los objetivos de la enseñanza de las ciencias descritos en el apartado anterior. Un ejemplo de ello son los objetivos propuestos por Camino (2011):

- Fortalecer la construcción de la propia identidad y lugar en el mundo
- Fortalecer la vivencia en el tiempo y en el espacio tridimensional
- Fortalecer la apropiación del entorno natural astronómico
- Fortalecer la capacidad de imaginar y de materializar imágenes de objetos y procesos
- Comenzar a manejar los procesos de observación, medición, registro, análisis, modelización y socialización de resultados
- Desarrollar la capacidad de estimar los órdenes de magnitud y los valores aproximados de las magnitudes espaciales y temporales del sistema Tierra-Luna-Sol

Pero también se encuentra que la enseñanza de la Astronomía, se aprovecha para capturar la atención de los estudiantes y mejorar su motivación en el aula, como muestran diferentes propuestas educativas en torno a la enseñanza de la astronomía (Bocanegra,

2018; Muñoz, 2017; Jiménez, 2011). Esto obedece principalmente a que son pocos los estudiantes que tienen interés en las ciencias. Algunos de los factores identificados que afectan el interés por la ciencia son: las condiciones socioculturales que configuran modos de pensar alejados a las ciencias; preocupaciones e intereses de los estudiantes y de las nuevas generaciones que distan de la ciencia; imaginarios en torno a las ciencias como actividades que requieren una preparación muy exigente que solo alcanzan pocas personas privilegiadas; imaginarios sobre la ciencia en torno a acciones como memorizar fórmulas, hechos históricos, leyes, entre otros (Justi, 2006, p174).

La enseñanza de la Astronomía planteada como recurso para capturar la atención de los estudiantes, no deja de presentar ciertas dificultades que también se hallan presentes en la enseñanza de las ciencias en general. Por ejemplo, Palomar (2013) encuentra que en algunas acciones, se privilegia la teoría sobre las prácticas de observación y por tanto, las actividades adquieren un carácter de comprobación de la teoría. El mismo autor encuentra en una investigación realizada por él, que la Astronomía presentada en 14 textos escolares, utilizados en escuelas españolas, privilegia la presentación verbal de información teórica, sin proponer actividades dinámicas como la observación, elaboración de escalas de tamaño de los planetas, o sin considerar el sistema Tierra-Sol-Luna. En ese mismo trabajo, se encuentra que los estudiantes² no comprenden o desconocen aspectos básicos de la Astronomía, pese a que la enseñanza de esta es reiterada en los diferentes grados escolares. Una de las observaciones hechas por Palomar que llaman la atención en este trabajo, es que al indagar por las tecnologías que se asocian a la astronomía, el instrumento que es más recurrente en las respuestas es el telescopio. Este instrumento no solo es ampliamente referenciado en los libros de texto de astronomía (Palomar, 2013. P.102) también es señalado en los objetivos que formulan maestros (p.117), así como el hecho de que los estudiantes asocian este instrumento con tecnologías que contribuyen al desarrollo de la Astronomía (p.130). Esto tiene unas implicaciones en el papel que tienen los instrumentos en la enseñanza de la Astronomía ya que limita la comprensión que pueden tener los estudiantes, en la forma de estudiar los eventos celestes.

Otro problema frecuente es el desconocimiento de aspectos históricos importantes en el desarrollo de la Astronomía, entre ellos los modelos sobre el universo. Ese

² Estudiantes de un centro educativo privado y dos públicos pertenecientes a la Comunidad Valenciana, España

desconocimiento teórico, metodológico e histórico tiene como efecto que los temas abordados en la enseñanza de la Astronomía presenten conflictos y dificultades al ser enseñados por el maestro, como aprendidos por el estudiante. Esas dificultades están relacionadas con la comprensión del evento que se estudia, es decir las características de ese evento que puede producir confusiones si no se poseen los referentes disciplinares adecuados, junto a los aspectos históricos que dan cuenta de cómo se ajustaron y construyeron las explicaciones en torno a ese evento. El abordar los detalles de los modelos del universo que han surgido, ofrece un referente teórico que ayudaría al maestro a diseñar actividades que ayuden a los estudiantes a entender la forma de trabajo de la ciencia, a partir de la construcción de modelos que resuelven unos problemas, pero a la vez pueden plantear nuevos problemas y por tanto, movilizaron a los estudiantes a comprender las causas y soluciones a esos problemas (Palomar, 2013). Algunos de los contenidos, y preguntas objeto de dichas dificultades que son frecuentemente abordadas en publicaciones como en trabajos de investigación son (Iglesias, Quinteros y Gangui, 2008):

- Las fases de la luna: ¿Son a causa de la sombra de la Tierra? ¿En qué se diferencian de los eclipses?
- Ciclo día y noche: ¿Qué causa el ciclo día-noche? ¿Dónde se encuentra el Sol durante la noche?
- Verticalidad en la Tierra y gravitación: ¿Por qué los cuerpos caen hacia abajo? ¿Qué hay “abajo”?
- Estaciones del año: ¿Su causa es debido a las diferentes distancias de la Tierra al Sol? ¿Qué relación tiene con la inclinación de la Tierra?
- Ubicación en el universo: ¿Cómo me ubico en el universo? ¿me ubico con referencia a qué? ¿Qué es arriba y abajo?

También se encuentran dificultades en términos del papel que tiene el estudiante como observador y su posición respecto a su entorno y respecto al cielo. Llama la atención especialmente que una de las actividades más frecuente, es la de la observación, seguimiento y registro de las fases de la Luna en el cielo, o del amanecer-atardecer o del día-noche (Escamilla, 2019; Basto, 2011; Gallego y Motato, 2011). Cuando se observa en detalle los dibujos elaborados por los estudiantes (véase Tabla 2) estos presentan puntos de referencia que son familiares para ellos (paisajes urbanos-rurales), pero carecen de

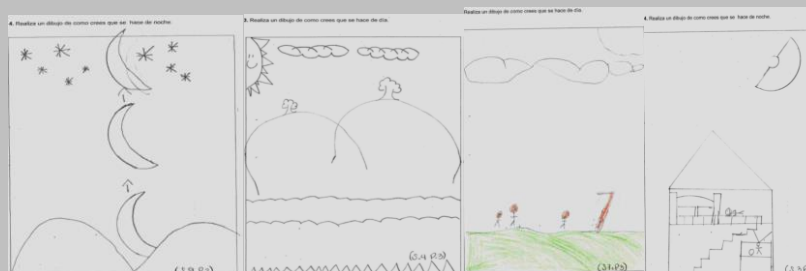
elementos cuantitativos (magnitudes) que ayuden a los estudiantes a comparar sus dibujos con sus compañeros. Otro problema relacionado con este último, radica en el modelo del cual parte el maestro para dar cuenta de lo que sucede en el cielo. Cuando se pretende explicar los movimientos de la Tierra, se recurren a modelos del universo que por una parte desubican al observador de su entorno. Es decir, representan un sistema de cuerpos (el Sol, la luna, los planetas) desde un punto exterior de la Tierra y por tanto ajeno a la experiencia del estudiante. Es interesante sobre este punto, que los estudiantes acuden a elementos familiares para ellos, con los cuales ubicar los cuerpos que observan en el cielo, y abren la posibilidad de plantear actividades desde las cuales los estudiantes mejoren sus descripciones, de tal forma que puedan intercambiar y comparar sus observaciones, con las que realicen sus compañeros.

Tabla 2: Representaciones del Sol y de la Luna realizadas en otras propuestas

Basto, 2011



Gallego y Motato, 2011



Fuente: elaborado a partir de: Basto (2011) y Gallego y Motato (2011).

Otra dificultad que se identifica, es la poca familiaridad con el uso de magnitudes angulares y la posibilidad de medir con esas magnitudes. El ángulo es un elemento geométrico mencionado de forma muy frecuente en el desarrollo de los contenidos del área de matemáticas e incluso se cruza con otras áreas como geografía, donde es

mencionado en las coordenadas terrestres (latitud, longitud). Pero como anotan Lanciano y Camino (2008), al momento de llevar este elemento geométrico hacia aplicaciones en el espacio físico, los estudiantes experimentan dificultades cuando tratan de describir en términos cuantitativos el espacio que los rodea, situación que se complica más para el estudiante con el uso de instrumentos. Es decir, la incorporación de instrumentos que miden ese valor no garantiza que mejore la comprensión del estudiante sobre su entorno espacial, si estos instrumentos no son contextualizados, es decir no se explica la razón de su uso y que es lo que miden.

Lo mismo sucede cuando se presentan gráficos sobre los sistemas de referencias. Estos sistemas aumentan la confusión en el estudiante, ya que por la complejidad que tienen esos esquemas, no tienen punto de referencia reconocibles o identificables en el entorno para el estudiante, y por tanto no le son familiares (Véase fig. 1). Llama la atención a este trabajo el llamado que hacen Galperin y Raviolo (2014) sobre las dificultades presentadas por los estudiantes en la comprensión de fenómenos astronómicos, éstas pueden guardar relación con el sistema de referencia que se usa (o su ausencia) para describir lo que acontece en el cielo en términos de las posiciones y movimiento de los cuerpos en el firmamento.

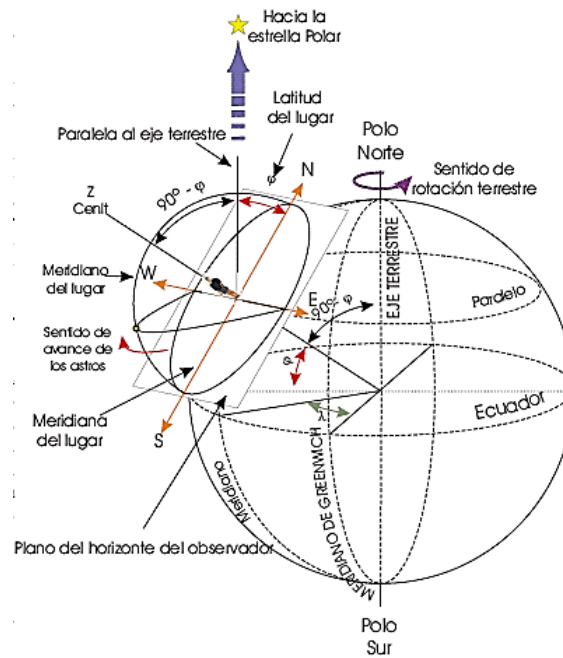


Fig. 1 Representación sistemas de coordenadas. Fuente: Instituto de Tecnologías Educativas, 2020.

Frente a lo expuesto, este trabajo considera que la enseñanza de la astronomía debe buscar en primera instancia, que los estudiantes aumenten su curiosidad por los eventos que suceden en su entorno, dejando esa actitud distante y ajena a lo que sucede en la naturaleza, alimentada por las miradas despreocupadas hacia el entorno que se difunden ampliamente. Para ello es importante plantear actividades en las que la enseñanza de la astronomía en vez de ser una vivencia anecdótica, se constituya en una experiencia significativa que transforme la forma en que ellos ven y perciben el entorno celeste. Dicha estrategia debe contemplar la elaboración y discusión grupal de modelos que se han usado para representar el entorno natural.

Se considera que profundizar en aspectos de orden pedagógico, epistémico, y disciplinar, contribuye a que el maestro reflexiones sobre los argumentos que fundamenten su ejercicio docente en la enseñanza de las ciencias. Y le orientan en el diseño e implementación de acciones en el aula que promuevan la elaboración de modelos sobre eventos celestes, como la posición y el movimiento del Sol y la Luna. Ello hace posible que las actividades que se diseñen sobre la observación, registro, descripción y análisis de los eventos que transcurren en el cielo pueden adquirir una nueva perspectiva. Es decir, que si bien el maestro es consciente de la importancia que tienen tanto sus saberes disciplinares como las construcciones teóricas que fundamentan esos saberes así como su prácticas, se busca que los procesos de enseñanza derivados de esos

saberes no estén centrados en la transmisión de información, y más bien puedan proporcionar un rol más activo y propositivo al estudiante, como protagonista en la actividad de organizar y explicar los fenómenos de su entorno, e incluso al maestro como participante en esas construcciones de los estudiantes.

1.3. Los instrumentos en la enseñanza de la Astronomía

El auge de la tecnología digital y la ubicuidad de esta en los diferentes espacios y actividades humanas, ha transformado la forma en que se ve y describe el mundo. Los dispositivos digitales hacen posible obtener información instantánea sobre características del entorno y del mundo inmediato o lejano y resuelven en forma casi inmediata preguntas respecto a condiciones que se presentan en nuestro entorno, como la ubicación actual, la distancia a un punto geográfico local, la trayectoria a recorrer, las condiciones atmosféricas, etc. Los usuarios de esos dispositivos digitales, quedan libres de un proceso complejo, que antaño era necesario para determinar esos aspectos geográficos, ambientales y astronómicos. Y como efecto, el usuario puede tener dificultades para describir ciertos aspectos de su entorno físico, ligados a los eventos astronómicos (Tarquino, 2016). Una de estas condiciones es la posición y movimiento del Sol y de la Luna respecto al entorno inmediato y respecto al planeta Tierra.

Ahora bien, este inmediato acceso a la información, influye en la forma de ver y percibir el entorno. Si bien las tecnologías implicadas (GPS, estaciones de meteorología, observatorios y simuladores astronómicos, bases de datos, etc.) facilitan el acceso al tipo de información mencionada en el anterior párrafo, parece aumentar el desconocimiento de los usuarios en cuanto a la forma en que se ha obtenido y configurado esa información. El distanciamiento de la naturaleza producto de la continua actividad urbana, la cual involucra el uso de esos dispositivos digitales, parece distraer a los usuarios y no menos a los estudiantes, de la observación reflexiva del espacio físico que le rodea (Muñoz, 2017; Tarquino, 2016; Ten y Monros, 1984). En ese sentido cabe preguntarse hasta qué punto los estudiantes organizan los eventos celestes desde sus saberes y experiencias. E incluso si es motivo de preocupación para ellos como para los docentes preguntarse por su entorno natural.

Es de resaltar que no se busca construir o favorecer posturas en contra de la tecnología. Se desea es derivar y organizar consideraciones desde las cuales se puedan proponer elementos que privilegien la construcción de explicaciones por parte de los estudiantes, a partir de la elaboración de modelos en torno al movimiento del Sol y la luna. Y el papel que tiene la observación consciente, curiosa y preocupada en torno a un objeto natural, que moviliza a buscar información de ese objeto a través de unos instrumentos astronómicos, que obligatoriamente no tienen que limitarse a un telescopio, en tanto otros instrumentos han tenido un papel importante al ayudar a obtener información de forma precisa de los eventos celeste (Ten y Monros, 1984) Y como la información obtenida, al pasar por un proceso metódico y organizado, los lleva a comprender y explicar su entorno a través de un modelo. En ese sentido, los instrumentos astronómicos pasan de ser un objeto de museo o una curiosidad lúdica y llamativa, a constituirse en un medio que le ayude al estudiante a establecer algunas relaciones entre los objetos naturales, atribuirles unas cualidades, desde las cuales puedan construir explicaciones. El objetivo será que el estudiante organice, comparta, comunique y resignifique su saber y experiencia desde su entorno celeste, que le permita llegar a comprender de forma fundamentada y razonable, la naturaleza de esos objetos celestes, cómo se comportan, y su efecto físico en él como observador activo.

1.4. Pregunta de Investigación

De acuerdo a lo expuesto en los apartados anteriores, emerge la siguiente pregunta que orienta la investigación en el presente trabajo:

¿Cuáles consideraciones de orden pedagógico, epistémico y disciplinar se deben tener en cuenta, al abordar el estudio de la posición y movimiento del Sol y la Luna desde un enfoque centrado en la construcción de modelos, en la enseñanza de la Astronomía?

Los objetivos que orientan la investigación son:

- Derivar las consideraciones disciplinares, pedagógicos y epistémicos que se encuentran a la base de estudio de la posición y movimiento del sol y la luna, a partir del estudio de referentes metodológicos e históricos construidos sobre ese evento celeste.

- Diseñar una propuesta de aula dirigida a maestros que aborden el tema de la posición y movimiento de Sol y la Luna en la educación básica, fundamentada en las consideraciones derivadas de la profundización teórica sobre los referentes metodológicos e históricos.

2. Antecedentes

En este capítulo se relacionan algunos estudios que se constituyen en antecedentes del presente trabajo, en tanto han sido elaborados en torno a la enseñanza de la Astronomía. En el primer apartado se describen los principales aspectos encontrados en los trabajos sobre la enseñanza de la astronomía, en términos de las posibilidades que ofrece la enseñanza de la astronomía en un espacio educativo. Y en el segundo apartado, se describen las diferentes actividades descritas en las propuestas de aula desarrolladas o sugeridas en esos trabajos, relacionados con el estudio de la posición y movimiento del Sol y de la Luna en la enseñanza de la Astronomía.

2.1. Investigaciones sobre enseñanza de la Astronomía

Los trabajos consultados presentan unos aspectos en común, que dejan entrever ciertas preocupaciones en la enseñanza de las ciencias. El primer aspecto es sobre el estudiante y su rol en la clase de astronomía, lo cual implica unas acciones del maestro dentro del aula en la enseñanza de las ciencias y entre ellas la astronomía. Y el segundo es sobre la enseñanza de la astronomía como punto de encuentro en el que convergen saberes de diferentes disciplinas y las posibilidades que esto puede ofrecer.

2.1.1. El papel del estudiante en la enseñanza de la astronomía.

En la enseñanza de la astronomía, se buscan situaciones que generen experiencias en los estudiantes y les lleve a organizar y representar los eventos que son objeto de estudio en el aula (Basto, 2018). Una de las dificultades identificadas son los currículos preestablecidos, que desconocen las necesidades, intereses y contextos de los estudiantes (Bocanegra, 2018), así como de los maestros, pues la enseñanza parte de su propia experiencia (Polanco, 2017), que lo lleva de algún modo a trabajar con representaciones idealizadas, que están lejos de lo observable (Tarquino, 2016) y que se mantienen en el plano de lo teórico, favoreciendo las ecuaciones o formalismo matemáticos (Cruz, 2019; Polanco, 2017; Palomar, 2013). En esas condiciones, la enseñanza de las ciencias tiene un carácter de transmisión, que busca que los estudiantes construyan conceptos que no tienen sentido para ellos (Flórez, Mancera, Ponce y Roncancio, 2015) y desconoce el

papel que tienen las ideas y experiencias de los estudiantes en la construcción de su propio conocimiento.

En este sentido, para Muñoz (2017) una planificación de secuencias didácticas puede comenzar por describir los fenómenos celestes desde la posición del observador, teniendo en cuenta que los estudiantes ya poseen algún grado de experiencia respecto al cielo, junto a creencias que se han formado. La observación del cielo en forma intencionada es muy importante en tanto contribuye a reconciliar la Astronomía con la observación del entorno, que de alguna forma se ha desligado de las actividades cotidianas, en tanto surgen otras actividades más inmediatas e interesantes para los estudiantes o emergen creencias e imaginarios que desvirtúan la astronomía y la actividad científica (Cruz, 2019; Escamilla, 2019; Muñoz, 2017). Y también, la enseñanza de la astronomía hace parte de una estrategia desde la cual el maestro acerca al estudiante a las ciencias y otras áreas, mediante la interrelación con los saberes de otras disciplinas, lo que obliga a enlazar los conceptos científicos de diferentes disciplinas de forma práctica en las actividades que se proponen en la enseñanza de la Astronomía (Flores, *et al*, 2015; Palomar, 2013; Polanco, 2017)

Se encuentra una preocupación común en todos los trabajos por que los estudiantes den sentido a la información consultada y a sus propias observaciones. Y con ello, desarrollar la habilidad de explicar los eventos que surgen en el entorno a partir de los conceptos científicos, en vez de ser vistos en forma trivial o que se den por sentados sin atención alguna. Para ello, es importante que los estudiantes retomen sus propios saberes, así como las preguntas que ya han formulado y contestado desde sus experiencias cotidianas, como medio de relación con los nuevos saberes, y que sean útiles para sus contextos. Con ello se contribuye a estimular el conocimiento científico (Basto, 2018; Flores *et al*, 2015; Muñoz, 2017; Polanco, 2017). En esa idea, uno de los enfoques de la enseñanza de la astronomía es fortalecer en los estudiantes la capacidad de elaborar modelos del universo. Se busca que los estudiantes estén en capacidad de proponer y discutir los modelos astronómicos, en la medida que conozcan las regularidades en los movimientos u otras características de los cuerpos celestes (Polanco, 2017; Tarquino, 2016).

A partir de lo anterior, algunos autores consideran importante resaltar la importancia de la preparación del maestro, ya que él debe pensar en estrategias en los

cuales se privilegia la actividad del estudiante como protagonista en la propuesta planteada. Y presentan propuestas en las que se busca que los maestros favorezcan en los estudiantes la construcción de significados y que establezcan relaciones entre sus saberes con los conocimientos formales, lo cual posibilita una mejor comprensión del entorno (Escamilla, 2019; Basto, 2018; Muñoz, 2017). Claro está, esto es posible en la medida que el maestro tenga libertad frente a contenidos que son de naturaleza prescriptiva (Muñoz, 2012). Ello se verá reflejado en cierta medida, en el papel que el maestro otorgue a las expresiones formales (ecuaciones, formulas), frente a las actividades observacionales (Polanco, 2017). Ello implica un trabajo continuo para el maestro, que lo obliga en cierta medida a profundizar en temas específicos desde los cuales definir el conjunto de temáticas que desee abordar (Escamilla, 2019; Ortiz, 2015; Tarquino, 2016) y tomar decisiones frente a las acciones en el aula, donde debe gestionar unos elementos requeridos para la enseñanza, (secuencias didácticas, recursos materiales, actividades propuestas, etc.) que propician el aprendizaje significativo en los estudiantes y desarrollar así habilidades asociados al pensamiento científico a partir de unos criterios que van emergiendo y poniendo en juego en el diseño de la estrategia pedagógica.

2.1.2. La Astronomía como punto de encuentro

Los trabajos consultados coinciden en señalar que la astronomía es un ámbito del conocimiento donde se da el encuentro y puesta en escena de los conocimientos de diferentes disciplinas. Los eventos naturales que se suceden tanto en la tierra como en el cielo, pueden ser abordados desde diferentes tópicos, contenidos en las áreas de Matemáticas, Ciencias Naturales, Ciencias Sociales, Filosofía, entre otras. Según Muñoz (2017), esto es posible en la medida que la Astronomía como disciplina comparte con otras disciplinas (ciencias naturales) un conjunto de acciones realizadas por sus integrantes, denominado método científico, en tanto se realizan las siguientes actividades: observar, registrar, preguntar, concluir y explicar. Y también ayuda a entender como estas actividades y métodos, configuraron otras disciplinas: matemáticas, física, química, biología, etc. (Polanco, 2017). La enseñanza de la Astronomía, ayuda a desarrollar actitudes reflexivas con la interpretación y comprensión de aspectos relacionados con los eventos astronómicos, que se articulan con conocimientos de otras disciplinas (Polanco, 2017).

Pero uno de los aspectos que parece obstaculizar este diálogo entre diferentes disciplinas en el aula, es la dificultad para planificar una actividad con enfoque interdisciplinar en la que los estudiantes aborden un fenómeno desde diferentes disciplinas (Bocanegra, 2018). Una posible causa de este problema, parece corresponder a las metodologías propias de cada espacio académico, que definen sus propios lineamientos y actividades que difieren de los de otras disciplinas (Palomar, 2013) Una posible solución que presentan algunos trabajos a esta dificultad, es la interdisciplinariedad, entendida como los aportes que pueden hacer otras áreas para el estudio de la astronomía (Polanco, 2017; Ortiz, 2015; Jiménez, 2015).

Ejemplos de ello, se tiene el área de lenguaje, que puede aportar en tanto se requiere de un acto comunicativo en los procesos de aula. El área de la historia ayuda a entender aspectos sociales y culturales de la astronomía en diferentes momentos del tiempo. Incluso en el área de religión se pueden explorar las creencias asociadas a algunas ideas astronómicas. El lenguaje y las matemáticas son fundamentales en términos de la comunicación científica, lo cual implica que el aprendizaje de las ciencias está relacionado con las áreas ya mencionadas. (Jiménez, 2011). En este sentido, la enseñanza de la astronomía, se constituye en una oportunidad de integrar saberes de diferentes áreas del conocimiento, mostrando que el conocimiento se construye por medio de la interacción de diferentes áreas del saber, e incluso del saber cotidiano. La ciencia no se limita a un método restringido e inflexible, sino que ofrece al estudiante la posibilidad de fortalecer sus habilidades en otras áreas (Basto, 2018; Bautista, 2019; Flórez et al, 2015).

2.2. Investigaciones sobre el uso de modelos relacionados con la posición y movimiento del Sol y de la luna

Los trabajos consultados ayudaron a identificar unas características particulares que giran en torno al papel que se otorgan al modelo y las estrategias didácticas que plantean para la enseñanza de modelos en un espacio educativo. Los aspectos que se encontraron son: el modelo usado como referente teórico para abordar el sistema Tierra-Sol-Luna junto al papel que dan al estudiante como observador; y las estrategias didácticas implementadas para abordar el sistema Tierra-Sol-luna.

2.2.1. Modelos del sistema Tierra-Sol-Luna en la enseñanza de la astronomía.

Los trabajos consultados, se caracterizan por enmarcar sus procesos de enseñanza-aprendizaje en torno a una representación particular del sistema Tierra-Sol-Luna. Y en la medida que se favorezca una mirada particular en las representaciones, esta delinea no solo las actividades desarrolladas, también la posición del estudiante como observador. Algunos trabajos muestran cierta preocupación por caracterizar los modelos históricos que definen la posición de los cuerpos del sistema solar, ya sea en las dos principales configuraciones históricas (geocéntrica y heliocéntrica) al presentar dos modelos representativos de cada uno a saber los modelos de Aristarco (geocéntrico) y de Copérnico (Martínez, 2004), o realizar una revisión detallada de los modelos de Ptolomeo, Copérnico y Kepler (Escamilla, 2019).

Pero en términos generales, confirmando lo encontrado por Galperin y Raviolo (2014), los trabajos se apoyan fundamentalmente en el modelo heliocéntrico, para abordar o solo proponer las actividades a desarrollar con estudiantes (Basto, 2018; Gonzáles, 2012; Gallego y Motato, 2011, Cardenete, 2010; Manuel y Montero, 1995). Y en función de ello, las representaciones del sistema solar o del sistema Tierra-Sol-Luna, frecuentemente recurren a la perspectiva extraterrestre, es decir, un observador que se encuentra en un punto externo a la Tierra, desde el cual contempla las posiciones y movimientos de la Tierra y la Luna, respecto a un Sol inmóvil.

Por otra parte, es interesante que algunos trabajos no partan del modelo heliocéntrico, sino que abordan la comprensión del movimiento de los cuerpos celestes desde una perspectiva topo-céntrica (el observador y su entorno es el punto de referencia). Esto es importante en el sentido que ofrece una perspectiva diferente a la extraterrestre, inherente al modelo heliocéntrico. Es decir, no contemplan un observador extraterrestre, sino que centran las actividades o discusiones teóricas desde un observador ubicado en la Tierra (Cruz, 2019; Galindo, 2014; Lanciano y Camino, 2008).

2.2.2. Actividades didácticas en torno a la construcción de modelos

En términos de las actividades implementadas o sugeridas en los trabajos consultados, son múltiples las versiones propuestas, que a continuación se describen y se procede a comentar aspectos que son interesantes para este trabajo. Para ello, se organizaron las

diferentes actividades en lo que se infiere es un orden cronológico dentro del desarrollo de las actividades, pero que no necesariamente implica que esta debe ser el orden.

Inicialmente se encuentra una actividad que tiene como objeto explorar las ideas (o imágenes individuales) que tienen los participantes frente a un conjunto de categorías asociadas a la astronomía, o frente a eventos astronómicos. Algunos trabajos exploran estas ideas de manera informal (Basto, 2018; Galindo, 2014; Martínez, 2004; Manuel y Montero 1995), y otros autores lo hacen a través de cuestionarios y test de respuesta correcta (Bautista, 2018 Gallego y Motato, 2011; Cardenete, 2010). Junto a esa actividad, algunas propuestas consideran ese proceso de indagación como el momento oportuno para introducir un problema de forma explícita y centrar este en torno a unos problemas específicos, como dar cuenta y explicar los cambios de posición del Sol (Martínez 2004) o explicar las razones de la presencia de estaciones y la causa del día y la noche (Manuel y Montero, 1995).

Después, se plantean otras actividades que giran en torno a aproximar al estudiante con su entorno, mediante diferentes actividades que buscan en general que el estudiante identifique, describa y represente su entorno (Cruz, 2019; Basto, 2018; Gallego y Motato, 2011; Cardenete 2010; Martínez, 2004). Algunas estrategias usadas para ello es la descripción de puntos cardinales, puntos de salida y puesta del Sol, e incluso una estrategia didáctica conocida como horizonte local que ayuda a integrar de forma gráfica esas descripciones (Cruz, 2019; Basto 2018, Bautista, 2018).

Otra posibilidad ofrecida, muy frecuente en los trabajos, es la simulación de posiciones y movimientos de diferentes cuerpos celestes con objetos que los representan (Cruz, 2019; Escamilla 2019 Bautista, 2018; González, 2012; Cardenete, 2010; Manuel y Montero, 1995), haciendo evidente la ventaja que ofrece en términos visuales y prácticos este tipo de simulaciones. Pocos trabajos desarrollan actividades en las que los mismos estudiantes hacen uso de su corporalidad para realizar dichas simulaciones, aunque es menos frecuente que el uso de objetos (Escamilla, 2019; Manuel y Montero, 1995). Menos frecuente aun, o por lo menos de forma explícita, es la presentación de situaciones astronómicas que difieren en algún aspecto que se busca reconocer, y que por tanto se someten a comparación, por ejemplo el uso de imágenes o audiovisuales para mostrar diferentes condiciones ambientales asociadas a diferentes locaciones en la esfera terrestre (Bautista, 2018).

Respecto a la observación de cuerpos celestes, esta es una actividad frecuente, que puede estar acompañada de instrumentos, mediante los cuales o se obtiene algún tipo de dato (altura) o se usa para verificar posiciones o movimientos de los astros o constelaciones, en determinados momentos del año (carta celeste, simuladores). (Cruz, 2019; Escamilla 2019; Bautista, 2018, Lanciano y Camino 2008; Martínez 2004.) De estas observaciones se deriva la elaboración de productos, como evidencia del grado de interiorización que presenta el estudiante frente a las actividades. En ese sentido, son varias las propuestas que abren un espacio para la construcción de representaciones bidimensionales y/o tridimensionales: maquetas, dibujos, gráficos, etc. (Escamilla, 2019; Basto 2018; Gonzáles 2012; Gallego y Motato 2011; Cardenete, 2010; Lanciano y Camino 2008). Esta actividad en algunas ocasiones se acompaña de momentos de reflexión en torno a las actividades y los resultados alcanzados en ellas (Martínez, 2004) o del uso de estrategias tradicionales como la exposición de diferentes elementos visuales y sus comentarios por parte del maestro (Galindo, 2014).

2.3. Aportes del trabajo a la enseñanza de la astronomía en torno a la posición y movimiento de la luna

Con base en lo anterior, se encuentra que este trabajo puede aportar en diferentes aspectos. Uno de ellos es establecer unas consideraciones que ayuden a tomar decisiones frente a los objetivos de las actividades, su diseño, selección, orden de una actividad respecto a otra, con el fin de ofrecer actividades y experiencias significativas para los estudiantes y su proceso de aprendizaje. Así como determinar los lineamientos que sean pertinentes para la enseñanza de la astronomía desde la construcción de modelos, qué pueda orientar actividades en diferentes espacios educativos (educación formal primaria-secundaria, club astronomía, semillero, etc.). Esto en razón de que no se encuentran de forma explícita lineamientos o aspectos que le permitan al maestro definir el uso o no de una actividad específica, o dar argumentos pedagógicos que por lo general obedecen a un interés particular de los trabajos consultados (objetivos de una investigación particular, condiciones de implementación, necesidad de obtener datos para elaborar categorías, aplicaciones de test-pos test, etc.).

Un segundo aspecto frente al cual se busca aportar en el diseño de actividades en torno a la enseñanza de la astronomía, es proporcionar orientaciones en torno a las

acciones dentro del aula, a través del diseño de una propuesta que se caracterizan por tener un hilo conductor, centrado en la construcción de modelos. Ese hilo conductor ayuda a mejorar el sentido y coherencia de las diferentes actividades y dar un propósito conjunto a estas, de forma que los estudiantes no se enfrenten a actividades desconectadas que pueden producir confusión o distracción, o limitarlo a algo anecdótico (muy frecuente con las actividades centradas en instrumentos y simuladores, de las cuales es frecuente que los datos obtenidos no se usen posteriormente), sino que encuentren un sentido a las actividades que realizan, en las que cada actividad, recurso, instrumento y fuente de información, constituyen en un insumo desde el cual el estudiante construye relaciones entre los objetos, saberes y experiencias, y por tanto da sentido a eso que aprende.

En ese sentido este trabajo puede proponer a partir de las consideraciones pedagógicas, epistémicas, y disciplinares que derive de la profundización metodológica e histórica, actividades en las que aspectos como las saberes y experiencias propias, el trabajo grupal, entre otros, se ponen en juego en la comprensión y explicación de eventos astronómicos. También proponer un nuevo papel al dato-instrumento, como insumo-medio que ayuda al estudiante a desarrollar habilidades en torno a la observación, medición, registro y organización de información. Y de estas acciones, los estudiantes no solo elaboran explicaciones con sentido, sino que también fortalece el desarrollo de actitudes críticas y reflexivas mediante las cuales comprende, interpreta y explica su entorno de forma lógica y argumentada.

Y tercero, este trabajo aporta en una lectura de los modelos históricos, desde otra mirada que invita a la reflexión en torno a la construcción de discursos que hace el maestro y que por tanto, permite tocar aspectos que frecuentemente no son objeto de análisis detallado y como resultado, no suelen repercutir en las practicas del maestro dentro del aula, entre ellos el carácter individuo-fenómeno, el problema que motiva la construcción del modelo, el marco teórico que está implicado en la construcción del modelo y el papel que tienen la observación, los instrumentos y los datos dentro de ese modelo.

3. Referente Teóricos y Metodológicos: Modelo y Construcción de Modelos en la Enseñanza de las Ciencias

Como ya fue mencionado, la enseñanza de la ciencia tiene dentro de sus objetivos, que los estudiantes por una parte identifiquen algunas formas de hacer y proceder en la ciencia (Justi, 2006), y a partir de ejercicios que replican en cierto grado (claro está con muchas limitaciones de orden teórico, logístico, metodológico, etc.) algunas de esas formas de actuar, pero no necesariamente alcanzan el nivel de rigurosidad del ejercicio científico, les ayude a comprender su entorno natural. Para ello, se han propuesto diferentes enfoques en la enseñanza de la ciencia, que buscan privilegiar las ideas y experiencias de los estudiantes, vivenciadas en su entorno familiar y escolar. Y a través del desarrollo de actividades, fortalecen la participación del estudiante, cambiando su rol hacia un sujeto activo en la construcción de conocimientos. La construcción de modelos es uno de los enfoques que ocupa un papel central la enseñanza de las ciencias (Oliva, 2019; Martínez, 2004; Pozo y Gómez, 1998), en tanto los modelos se constituyen en un medio desde los cuales se busca comprender, dar sentido y establecer relaciones entre los conocimientos científicos y las ideas y experiencias que llevan consigo los estudiantes a la escuela, con los eventos que se suceden en el entorno del estudiante (Justi, 2006).

En este sentido los referentes teóricos que enmarcan el análisis que se realizará en este trabajo, toman como partida el papel del modelo en la ciencia, la comprensión de los individuos sobre su entorno, junto al papel de la construcción de modelos en la enseñanza de las ciencias (Greca, Moreira y Palmero, 2012; Justi, 2006; Morrison y Morgan, 1999; Giordan y De Vecchi, 1995).

3.1. Modelo y Ciencia

No son pocas las propuestas que buscan y plantean estrategias para que los estudiantes aprendan sobre ciencia y los modos en que ésta se hace a partir de modelos. Algunas de ellas, toman el modelo como un elemento estructurante. En otras, este parece ser un elemento formal (esquema, ecuación, diagrama, etc.) que hace parte de los contenidos teóricos que desarrollan. También el modelo surge de una actividad en la que este es un producto de un proceso, y por lo general es de carácter material (maqueta, dibujo). Interesa clarificar la idea de modelo en tanto este es importante para comprender una de

las formas en que se construye el conocimiento, entre ellos el científico (Morrison y Morgan, 1999).

Son varios los significados atribuidos al término modelo. En su sentido popular, el modelo refiere a unas entidades (personas, objetos, ideas) que se toman como referentes para ser reproducidas en función de las cualidades que se les atribuye (configuración estética, valores morales, etc.) (Real Academia Española, 2019; Justi, 2006). Otro sentido que se le da a la palabra modelo, es que éste es una representación de alguna cosa, ya sea un objeto, una idea, un proceso, o un sistema (Oliva, 2019, Justi, 2006). De lo anterior surge una aparente contradicción, ya que dan a entender que el modelo es tanto el objeto como la representación de ese objeto. La idea de modelo que interesa es la de representación de algo, ya que esta visión en la cual se enmarcan las definiciones dadas para el modelo del contexto científico, como dentro del contexto de la enseñanza de las ciencias, propuestas por diferentes autores (Oliva, 2019; Godoy, 2018; Bohórquez y Orozco, 2015; Justi, 2006).

3.1.1. Modelo en el contexto de la ciencia

Diferentes autores han aportado trabajos que llevan a discutir sobre la concepción que se tiene de los modelos en la constitución del conocimiento en ciencias, así como de las principales características de un modelo. Aquí se exponen algunos de estos aportes que se constituyen en referentes para el presente trabajo, en tanto de aquí devienen algunas reflexiones que permitan derivar las consideraciones que orientarán la propuesta.

Justi (2006) señala que los modelos son representaciones que ayudan a simplificar esos objetos del entorno físico, facilitar su comprensión y con ello, generar nuevos conocimientos y comunicar a otros, las comprensiones e interpretaciones realizadas sobre la naturaleza. Rioja y Ordoñez (1999) señalan de su parte, que el modelo es una estructura teórica producto de una construcción racional. Esta estructura justifica un conjunto específico de eventos en la naturaleza (dominio de fenómenos), es representable y permite explicar aquello que se ve en la naturaleza. Greca, Moreira y Palmero (2012), proponen dos tipos de modelos en el contexto de la ciencia. Uno de ellos es el modelo mental, el cual es de carácter individual (será desarrollado en el siguiente apartado). Y el modelo conceptual, que es una representación de carácter preciso y consistente con el conocimiento formalizado (teoría), conocimiento que es elaborado y

compartido por una comunidad enmarcada en una actividad específica (científico-ciencia).

Por otra parte, Morrison y Morgan (1999) postulan que los modelos son la representación de algún aspecto de la naturaleza, o de algún aspecto de una teoría sobre la naturaleza o ambas. En otras palabras, los modelos no se limitan a representar la naturaleza; estos también pueden representar la teoría que se usa para explicar un fenómeno de la naturaleza. Esto implica un elemento necesariamente diferenciador entre la teoría y el modelo. Morrison y Morgan (1999) señalan que la teoría es el conjunto de principios generales mediante los cuales se describe el comportamiento de un grupo de fenómenos en la naturaleza, o dominio de fenómenos como los denominan Rioja y Ordoñez (1999). Por otra parte, los modelos en su condición de representación de algo, dan cuenta de una porción de dicho sistema de fenómenos descritos por la teoría, pero no la totalidad de procesos abarcados por la teoría. Una razón para ello es la misma idea que proponen Morrison y Morgan (1999) para la representación. Esta es una abstracción o traducción en otra forma, de la naturaleza, sistema o teoría. El modelo tiene la capacidad de sintetizar y en algunos casos, materializar solo una porción de la totalidad de los que es representado. Y en consecuencia ayuda a mejorar la comprensión y aprehensión de una parte del entorno en el que se encuentra el sujeto (Frigg y Nguyen, 2017, Morrison y Morgan, 1999).

Respecto a la relación entre el modelo y la teoría, Morrison y Morgan (1999) señalan que el modelo describe una porción de un dominio de fenómenos, bajo un marco teórico que le da sentido. Eso quiere decir que el modelo es subsidiario a una teoría, y esta requiere del modelo para ser explicada o aplicada. Por lo tanto, el modelo debe dar cuenta del marco teórico bajo el cual es formulado, con el fin de hacer válido dicho marco teórico frente a un conjunto de observaciones (Rioja y Ordoñez, 1999). Para lograr este carácter preciso y consistente, los modelos se materializan por medio de leyes, formulaciones matemáticas, o artefactos materiales (Greca *et al*, 2002). Aunque también los modelos pueden ser de carácter descriptivo o visual (Morrison y Morgan, 1999).

Frente a lo anteriormente expuesto, en este trabajo se entiende que el modelo, se encuentra conformado por un conjunto de representaciones organizadas e integradas dentro de una estructura teórica y por tanto racional. Dichas representaciones no son copias literales del entorno físico, sino abstracciones que se realizan de ese objeto natural

presente en la naturaleza, frente a la cual el observador tiene interés en su comprensión. El papel del modelo es simplificar un aspecto específico de la naturaleza, de tal forma que ayuda a una comunidad que hace uso de dicho modelo, en comprender y explicar cómo funciona ese objeto dentro de las condiciones físicas en las que se encuentra inmerso. En virtud de dicha comprensión, el modelo sirve como elemento de base, que le permite a quienes lo usan, en un contexto social particular, construir conceptos sobre el objeto estudiado y mejorar a partir de ese conocimiento, el poder explicativo tanto del modelo como de la teoría en la que se enmarca.

Para el caso específico del movimiento del Sol y de la luna, es interesante la idea que desarrolla sobre el modelo, el autor van Fraassen y que retoma Morrison y Morgan (1999). Un modelo de un objeto físico en relación a otros objetos, es considerado como un constructo que contiene representaciones organizadas e integradas de las diferentes posibilidades que tiene un sistema físico, cuyos elementos tiene diferentes estados (posición y movimiento) según se desarrollan en el tiempo y espacio. En ese sentido, el modelo debe ayudar a sus usuarios, no solo a simbolizar un conjunto de teorías, hechos u objetos, que están involucrados en la posición y movimiento del Sol y la luna, también debe posibilitarles explicar algo sobre cómo se relacionan esos elementos para dar cuenta de la posición y el movimiento. Y dichas explicaciones podrían ser contrastadas con el objeto en su entorno natural, para así comprobar si son pertinentes o no (Rioja y Ordoñez, 1999, Giordan y De Vecchi, 1995). Ello es posible en la medida que el modelo ofrezca a al individuo que lo usa, la posibilidad de establecer relaciones entre la teoría y el objeto de estudio según sus condiciones físicas observadas.

En este punto surge la duda en torno a que características diferencian el modelo de otras formas de organizar el conocimiento construido sobre un sistema de objetos físicos. Giordan y De Vecchi, (1995) señalan algunas características entre ellas que el modelo debe ponerse en correspondencia con los objetos de estudio, debe poder simbolizarlos mediante una estructura explicativa, y debe hacer posible realizar previsiones sobre estados del objeto estudiado. Por otra parte, Morrison y Morgan (1999) proponen cuatro características, de las cuales si bien algunas son similares a las mencionadas por Giordan y De Vecchi, (1995), ofrecen un mayor detalle. Estas cuatro características del modelo son: el proceso de construcción, la función, el poder de representación y el aprendizaje.

En términos de construcción, los modelos son elaborados a partir de la teoría que lo enmarca y del dominio de fenómenos que se busca comprender, de la cual se extraen datos. Pero los modelos no son de forma exclusiva elaborados por teorías o por datos observacionales. Los involucra a ambos, junto a otros elementos que emergen en su construcción. Por tanto, la construcción del modelo obedece a un ejercicio de simplificación y aproximación a un objeto del entorno que se quiere comprender. Respecto a la forma en que los modelos son construidos Morrison y Morgan (1999) encuentran que son muy pocas las descripciones que dan cuenta de ese proceso. Una de las formas recuperadas por ellos, consiste en un proceso de selección e integración de varios elementos que son pertinentes para una tarea específica (esquematizar el objeto a estudiar, relacionar variables, etc.). En este proceso intervienen elementos que hacen parte del marco teórico, de la evidencia empírica, junto con formalidades (con frecuencia matemáticas). Y se añade una entidad no definida por Morrison y Morgan (1999) que es la metáfora³, mediante la cual se guía la forma en que el modelo es concebido. Dicha metáfora estructura los datos empíricos, los ordena y relaciona con los demás elementos. Aunque estos no son los únicos elementos que están involucrados, también el modelo en su construcción se ve influenciado por aspectos históricos, lógicos e incluso materiales u objetos que son imaginados en condiciones ideales. La disposición y presencia de otros elementos adicionales a la teoría y los datos empíricos, son los que dan un carácter autónomo al modelo frente a la teoría y el fenómeno estudiado.

La función del modelo es en primera instancia y como se ha inferido de las definiciones, ayudar en la construcción de la teoría desde la cual se entienda y describa un objeto o evento natural estudiado. El problema de esta idea es que no establece límites entre el modelo y la teoría, y cuándo uno deja de ser lo otro. Morrison y Morgan (1999) resuelven este problema, señalando que el modelo actúa como un instrumento mediante el cual el individuo media entre la teoría y el dominio de fenómenos a comprender. El modelo no solo ayuda a construir una teoría, también permite explorar y experimentar sobre una teoría ya existente. Entendida como instrumento, el modelo puede tener diferentes funciones, entre ellas representar aspectos específicos de un marco teórico, para replicarlos de forma controlada en experimentos, para explorar características del mismo marco teórico (en este sentido, se corresponde con el modelo conceptual, que más

³ Parece ser que esa metáfora refiere a una especie de lógicas y razonamientos, que es aprehendida por el individuo al seleccionar organizar y relacionar datos de otro contexto, pero cuyas lógicas le permiten ser extrapolables al contexto científico.

adelante será desarrollado), explorar aspectos del fenómeno frente a los cuales la teoría no puede dar cuenta de forma precisa o clara, estudiar las implicaciones o aplicabilidad que puede tener la teoría en una situación concreta que se relacione con la misma, entre otras (Morrison y Morgan, 1999).

Otra característica relacionada con la anterior es la representación. Esta característica es interesante ya que identifica la forma en que se construye una teoría a partir de un modelo, aspecto que se escapaba hasta este momento, ya que solo se daba cuenta de cómo la teoría servía para construir un modelo sobre un sistema físico. La representación refiere a la capacidad que tiene el modelo de abstraer aspectos significativos, o de la teoría que enmarca el conocimiento de un objeto específico de la naturaleza, o del objeto o evento estudiado y así simplificarlo para después replicarlo y manipularlo (con las limitaciones que eso puede implicar) (Morrison y Morgan, 1999). En ese sentido, se dibuja un esquema más simple del comportamiento del objeto estudiado, interpretada desde un marco teórico bajo el cual se desarrolló el modelo o de un conjunto de razonamientos a priori de quienes estudian el sistema. A partir de dicho esquema, el modelo también presenta una función, ya mencionada antes que es replicar aspectos del sistema físico estudiado en forma simple. Ese nivel de simplificación (del sistema físico, no del modelo en sí mismo, el cual puede ser complejo) deriva en la cuarta característica y es el aprendizaje.

Un modelo hace posible que quien los use y elabora pueda aprender algo sobre el objeto o situación que fue modelado, debido a las relaciones que guarda con los objetos naturales observados y con el marco teórico que lo justifica o las lógicas y creencias que tienen los individuos sobre ese objeto natural que se estudia. Pero un rasgo que resalta Morrison y Morgan (1999) sobre el aprendizaje, es que la observación del modelo en sí mismo, no es significativa para aprender. Cuando el modelo es manipulado o construido, se hacen evidentes los elementos que han sido combinados para su formulación, y hacen posible aprender cómo y por qué funcionan las intervenciones que se hacen al objeto de estudio, desde la teoría que actúa como marco de referencia para abordar dicho objeto, donde el modelo se refuerza en su papel instrumental. Pero en este punto es de resaltar que no necesariamente se requiere de la teoría para comprender las relaciones identificadas en el modelo. De hecho en ausencia de un marco teórico, lo que ocupa el lugar de este elemento, serán los saberes derivados de las experiencias anteriores relacionadas con ese objeto o suceso natural que es modelado, como de otras fuentes de

conocimiento no formal usados para explicar ese objeto, y que establecen las formas que tienen los individuos de organizar los sucesos observados. El desarrollo de esta idea en el siguiente apartado, ayudara a ampliar el papel del modelo en la construcción de la teoría.

3.1.2. Los modelos explicativos de los individuos

Como se hacía notar en el anterior apartado, un modelo puede formar parte de las actividades de elaborar y comunicar explicaciones que realizan los integrantes de un grupo social, en torno a las preguntas que se plantean sobre un evento u objeto del cual hay una preocupación por comprenderlo y explicarlo. En términos de su función, el modelo le permite al individuo hacer algo frente a la teoría y el objeto u evento físico representado, lo cual es posible gracias a la forma en que el modelo representa un objeto natural como los aspectos teóricos que se relacionan y posibilitan abordar ese objeto. Y a su vez el modelo hace posible que el individuo aprenda algo sobre su entorno y la teoría que se usa para describir y explicar ese entorno. Ahora bien, interesa precisar la naturaleza de la relación entre el modelo y el individuo.

Greca *et al* (2002) proponen dos tipos de modelos: mental y conceptual. El modelo mental son las representaciones específicas (imágenes, proposiciones, etc.) que hace un individuo sobre su entorno físico y mediante las cuales entiende y explica para sí mismo, el mundo físico que le rodea. Y le permite comprender las descripciones y explicaciones de otros individuos, cuando ellos se expresan sobre el mismo mundo físico. Según Greca *et al* (2002), este modelo mental es la base a partir de la cual se elaboran los modelos conceptuales, que corresponde a los modelos científicos. El modelo mental no llega a ser completo y preciso respecto a la capacidad de abarcar todos los conocimientos formales con los cuales se describe un evento situación u objeto del mundo físico. Pero aun con esa limitante, el individuo explica su entorno por medio de su modelo mental, y frente a un problema que se le presenta, le ayuda a elaborar simulaciones personales y subjetivas de cómo funciona ese objeto natural en una situación concreta. Para que eso sea posible, se considera que el modelo mental está conformado por entidades y relaciones mediante los cuales, se representa un estado de cosas específico que sirven de insumo para realizar las simulaciones (Greca *et al*, 2002).

Esta simulación es entendida como el ejercicio de orden mental que hace el individuo, al poner a prueba diferentes combinaciones entre relaciones y entidades, de

forma que se acerque a una combinación que es más aproximada a la situación u objeto, en términos de explicar para el individuo lo que sucede en un aspecto concreto de su entorno físico. Esta simulación supondría dos fases. La primera es la distinción de las características y relaciones entre diferentes componentes que hacen parte de una situación objeto de estudio. Y en la segunda fase, se accionan unas normas lógicas y operacionales, adquiridas por la experiencia o por la interiorización de otras reglas lógicas, bajo las cuales se prueban, ajustan y deciden las relaciones y las entidades más ajustadas a la situación (De Kleer & Brown, 1983, como se citó en Greca y Moreira, 1998).

Para ilustrar el modelo mental, entendido desde Greca *et al*, (2002) se toma como ejemplo un instrumento usado para registrar el movimiento del Sol: el gnomon (véase fig. 2). Este es un dispositivo simple, mediante el cual se visibiliza el desplazamiento del Sol, por medio de la sombra que proyecta un estilete sobre una superficie horizontal. El modelo mental del gnomon estará conformado por unas entidades que simbolicen en la mente del individuo, el poste vertical, la superficie, la base horizontal y el Sol (fig. 2 izq.). También hacen parte del modelo mental, las relaciones que establece el sujeto, entre cada una de las entidades que hacen parte del gnomon. Un ejemplo de estas relaciones puede ser el hecho de que el poste vertical siempre tendrá una disposición perpendicular respecto a la base; que la luz del Sol describe una trayectoria recta, y cuando el estilete se interpone entre el Sol y la base, proyecta la sombra del mismo estilete sobre el suelo, formando una imagen del mismo; que la línea de proyección forma un ángulo respecto del suelo, entre otras relaciones que se puedan construir (fig. 2 der). Cuando se integran y se ponen en juego tanto las entidades como las relaciones en el modelo mental, se da a lugar una simulación de las interacciones entre los elementos que conforman y se asocian al gnomon. Y como resultado, el individuo toma decisiones bajo un conjunto de reglas lógicas, sobre la relación que es relevante para él, en tanto le ayuda a entender qué sucede con el objeto que observa.

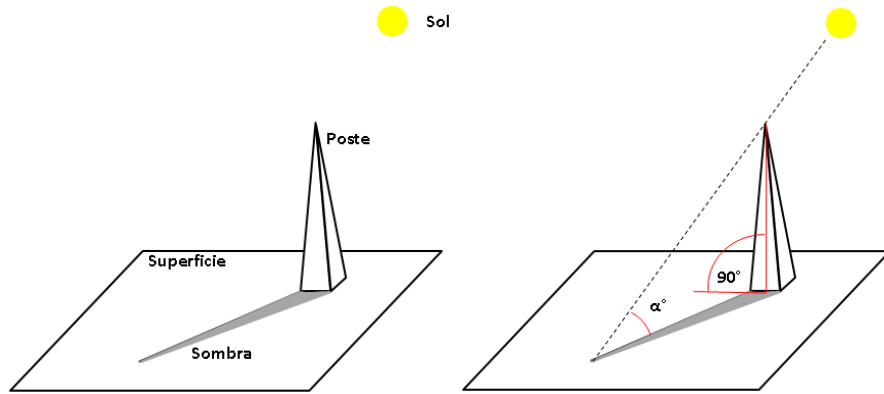


Fig. 2: Gnomon izq.: entidades; der: relaciones. Fuente: elaboración propia.

Pero el sujeto también puede establecer otras relaciones no consideradas por los autores mencionados, que son construidas desde la forma en que el sujeto ve su entorno, influenciada por las imágenes o perspectivas que tiene la sociedad de la cual hace parte el individuo, en torno a la naturaleza y el conocimiento que da cuenta de esas formas de ver el entorno (Elkana, 1977). Ejemplo de ellas es la consideración que tenga el sujeto frente al movimiento de la sombra. Bien pudiera considerar que esta se mueve a causa de que el Sol se desplaza por el firmamento, y por tanto él se considera un observador estático (fig. 3 izq.). O bien, pudiera el individuo considerar que la sombra se mueve en virtud a que el horizonte del observador se mueve y el Sol esta estático respecto a un horizonte-observador móvil (fig. 3 der).

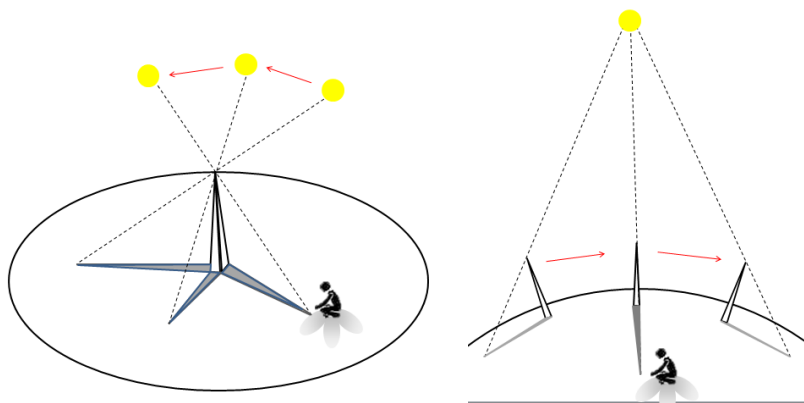


Fig. 3: Perspectiva del entorno del sujeto. Izq.: El Sol se mueve; der: el horizonte se mueve. Fuente: elaboración propia.

Otro elemento a tener en cuenta es la preocupación del individuo por caracterizar lo que sucede en una parte de su entorno. Esa preocupación lo llevará a determinar durante intervalos de tiempo largos, las características que presenta un objeto que estudia. En el caso del gnomon, el individuo configura el uso de dicho aparato para registrar la sombra proyectada en diferentes momentos temporales. Con este instrumento no interesa hacer una única observación en un único momento. Interesa establecer los cambios que experimenta la sombra en un transcurso de tiempo (por lo general del amanecer al atardecer) para así relacionar otras entidades como el ángulo de la sombra respecto al norte, el ángulo entre la línea de proyección de la punta del gnomon y la base, etc. Estos elementos y relaciones ejemplificados a través del gnomon, como para otros objetos de estudio, son organizados desde un saber individual o de un marco teórico, que ayudan a describir cómo se comporta un objeto en la naturaleza, y en el cual se enmarcan las explicaciones individuales que se construyen y los modelos que materializan o conceptualizan esas explicaciones.

Esta forma de ver el modelo desde una perspectiva del individuo, es interesante frente al nivel de detalle que proporciona y amplía las características que constituyen un modelo científico. También desarrolla un conjunto de elementos de orden psicológico que explica cómo se crean los modelos en forma individual. Pero por ello mismo también plantea problemas, en el sentido de la dificultad de dar cuenta de dichos elementos de orden mental, que desbordarían los propósitos de este trabajo. Pero hacen posible extraer elementos que ayuden a comprender el papel del modelo frente al individuo y su proceso de aprendizaje.

Respecto a la forma en que el modelo permite al individuo establecer relaciones entre la teoría y el objeto a estudiar, es de utilidad entenderlo como un elemento mediador. Giordan y De Vecchi, (1995) plantean que el modelo se corresponde con un instrumento de pensamiento, mediante el cual un individuo hace significativo para sí mismo, un objeto de estudio. Morrison y Morgan (1999) plantean una visión similar sobre el modelo como un agente autónomo, un instrumento mediante el cual, el sujeto media entre la naturaleza y la teoría. Morrison y Morgan plantean una analogía entre el modelo y un martillo para comprender mejor dicha función. El martillo está diseñado para que el usuario pueda realizar una acción específica que involucran un clavo y un medio sólido (tabla de madera, pared, etc.). Esta acción es golpear el clavo para incrustarlo en ese medio sólido. El martillo no es ni el clavo, ni el medio sólido, sino que

es un ente independiente, mediante el cual, el usuario interactúa de una forma particular con el clavo y la pared (Morrison y Morgan, 1999). Si bien esa analogía tiene sus problemas⁴, ayuda a entender cómo el modelo se constituye en un instrumento que le permite al individuo, interactuar con el objeto natural observado y el evento o conjunto de acontecimientos que lo enmarcan, al constituirse en una representación simplificada de esta, y con la teoría al abstraer aspectos relevantes para la comprensión del objeto de estudio.

Otro elemento a tener en cuenta respecto a las representaciones que no se considera en detalle por Greca *et al*, (2002) es la puntualización que hacen Giordan y De Vecchi (1995), en torno a que las representaciones que se pone en juego en la elaboración de un modelo, son producto de un proceso previo, de una elaboración anterior y por tanto está formado por relaciones y entidades que ya han sido construidas con anterioridad a través de la experiencia. Esta es entendida como el conjunto de vivencias que ha experimentado un individuo, producto de la interacción con ese objeto o situación que es representado (Arca, Guidoni y Mazoli, 1990). Esas interacciones que se realiza el individuo a través de sus sentidos, se constituyen en una fuente de información del objeto, información que el individuo organiza a través de unas imágenes mentales y de las relaciones que establece entre esas imágenes, ya mencionada en párrafos anteriores. En ese sentido, abordar un modelo implican reconocer la experiencia que ha vivenciado el individuo, y que él pondrá en juego para responder unas preguntas que se ha formulado. Ahora bien, esas representaciones de las cuales se vale el individuo, al igual que una nueva representación que surja, emergen de otro elemento importante: la pregunta.

⁴ El problema de base de la analogía descrita por los autores, radica en la diversidad funcional que tiene un martillo. Ya advertirá el lector que el martillo puede tener otras funciones (fragmentar objetos, extraer clavos, actuar como contrapeso, etc.). Otro problema radica en que el martillo es una herramienta (artificio para optimizar y amplificar fuerzas mecánicas) y no un instrumento (artificio con el que se atribuyen o amplifican magnitudes atribuidas a un objeto que es observado). Este trabajo propone como analogía más pertinente, el uso de un flexómetro para medir la longitud de un objeto específico, por ejemplo la altura de una biblioteca. El flexómetro actúa entre un marco teórico mediante el cual se especifica una magnitud concreta (longitud), y un objeto presente en el entorno del individuo, del cual se desea conocer una propiedad que se le atribuye desde un marco teórico. Nótese que el flexómetro no contiene en sí todas las escalas usadas para medir magnitudes, como tampoco tiene magnitudes diferentes a la longitud, que si contempla el marco teórico (sistema de medidas). El flexómetro representa y repite algún aspecto del patrón de medida designado y del marco teórico que lo enmarca. Por otra parte, con el flexómetro se demarca y representa una propiedad que se le atribuye a una biblioteca (altura o ancho) más no toda la entidad llamada biblioteca u otros aspectos de esa entidad (color, textura, material).

La mediación que ofrece el modelo en el sentido de la construcción de relaciones entre la teoría y la naturaleza, es producto de un conjunto de interrogantes que se formulan los individuos, ya sea a nivel individual o social, y que a su vez tienen como base, unas ideas y supuestos de quienes formulan dichas interrogantes. Por tanto, el modelo está mediado por el contexto de quienes elaboran dicha representación (Bohórquez y Orozco, 2015). El modelo a su vez, debe permitir a sus usuarios, no solo simbolizar un conjunto de hechos u objetos, también debe permitirles responder a un conjunto de interrogantes que se formulan sobre el objeto de estudio que los rodea y de la que buscan explicaciones. También debe permitir responder las preguntas que hacen los individuos sobre el marco teórico bajo el cual se estructura el modelo.

Las respuestas que proporciona el modelo, finalmente deben poder ser contrastadas con el objeto y el suceso en el que se encuentra, de forma que permita comprobar si son pertinentes o no las explicaciones elaboradas a partir de las representaciones, el modelo construido de esas representaciones y la teoría que lo enmarca. Los modelos también deben poder permitir a quienes lo usen, hacer predicciones de cómo se va a comportar un objeto natural y debe poder funcionar en diferentes condiciones (Rioja y Ordoñez, 1999; Giordan y De Vecchi, 1995). Y en este trabajo se considera que en algún momento, como se desprenderá de la revisión de los modelos históricos en torno al movimiento del Sol y la Luna que será descrita en un apartado siguiente, esos modelos y el proceso de construcción de explicaciones en torno a ellos, debe permitir cuestionar los supuestos desde los cuales interpretan los individuos su entorno físico.

La pregunta será entonces: ¿cuáles son las características y criterios implicados en ese proceso de construcción de explicaciones a partir de un modelo, en la enseñanza de las ciencias? El siguiente apartado tiene como objeto responder esa pregunta.

3.2. Construcción de modelos en la enseñanza de las ciencias

En el enfoque de la enseñanza a través de la construcción de modelos, tiene como objetivo, que el estudiante construya de forma colectiva, modelos que le permitan explicar un objeto de estudio del entorno natural en el que está inmerso el estudiante. Y de esta forma, mejorar la comprensión de de su entorno natural, como de los modelos producidos por la actividad científica y que se consideran válidos para representar el mundo natural. En este punto se entiende por enfoque, un conjunto de elementos entre

ellos los supuestos pedagógicos y epistémicos, que enmarcan creencias del maestro en torno al aprendizaje, las metas de aprendizaje, los criterios para seleccionar y organizar los contenidos y actividades involucradas, entre otras (Pozo y Gómez, 1998). Estos elementos, al estar centrados en torno a los modelos, entre ellos los que resultan como producto de la actividad científica, implica que el maestro toma estos modelos conceptuales o como llamaremos en adelante modelos científicos, como referentes en los que se apoya para orientar a los estudiantes en el proceso de dar sentido y elabore explicaciones sobre los eventos que suceden en su entorno, mediado por los modelos que él ha elaborado y reelaborado. Esto lleva a que si el modelo científico se constituye en un instrumento de enseñanza, del cual se vale el maestro para presentarle saberes formales al estudiante, el modelo que es construido por el estudiante debe implicar un proceso de construcción de saberes y explicaciones del mismo estudiante sobre su entorno, y desde su propio contexto.

Si bien los modelos que construyen los estudiantes para explicar un aspecto de su entorno no son iguales a los modelos científicos, les hace posible identificar la existencia de modelos alternos mediante los cuales se realiza una lectura de la naturaleza (Pozo y Gómez, 1998). Pero más importante, ayudan a los estudiantes a organizar los objetos de estudio del entorno, los conceptos teóricos que permiten explicarlos y construir relaciones entre esos elementos. En ese sentido, las acciones dentro del aula apuntan a que el estudiante construya relaciones entre las representaciones con las que ya cuenta y de las que se ha valido para describir su entorno, con la incorporación de nuevas representaciones contenidas en los modelos científicos que ayudan a dar sentido a las nuevas experiencias y contenidos que se le presentan (Greca, *et al*, 2012). Claro está, el problema radica en que esta es una idealización del aula, ya que no considera las razones por las que el estudiante deba reconfigurar sus representaciones. Si bien la respuesta inmediata puede ser, que por medio de los modelos científicos elaboran explicaciones más precisas y ajustadas, no tiene en cuenta las razones por las que un estudiante consideraría necesario reelaborar y reorganizar sus modelos mentales para dar cuenta de objetos de estudio que están en su entorno. Si es que esos nuevos modelos mentales, sean realmente necesarias para él en tanto que, de los que ya dispone, son suficientes y dan cuenta de lo que sucede y le permiten explicar lo que acontece. Y por otra parte, frente a algo nuevo que es ajeno a su contexto, es difícil que el estudiante sienta la necesidad de elaborar una representación que dé cuenta de eso que es ajeno a él.

Frente a lo anteriormente expuesto, para que la construcción de modelos en el aula tenga un sentido educativo pertinente es necesario tener en cuenta que el modelo a ser elaborado debe tener sentido para los estudiantes. Esto implica que se debe contextualizar dentro de las actividades de enseñanza y por tanto ser entendible para los estudiantes. También es necesario que los estudiantes posean cierto nivel de experiencia, con el objeto-evento a modelar, es decir vivencien algún tipo de interacción significativo con ese objeto. No se puede plantear un objeto de estudio que es del todo desconocido a los estudiantes, ya que esto implica que carecen tanto de las representaciones bajo las cuales organizarlo, pero en mayor medida, del problema y las preguntas que motiven a construir explicaciones sobre ese objeto (Justi, 2006), y menos si no han obtenido algún tipo de información a través de la interacción con ese objeto. Para ello es importante proporcionar a los estudiantes, no solo información de orden declarativo del objeto a modelar, sino generar condiciones bajo las cuales surja un problema en términos de comprender que sucede y como explicar eso que se observa. Después de que un problema emerge, ya tendrá sentido evocar información que ellos ya posean, obtenidos de situaciones cotidianas o actividades escolares previas y que se pueda relacionar con el objeto a ser modelado. Frente a lo anterior, Giordan y De Vecchi (1995) señalan que este proceso puede fracasar cuando se presentan modelos que tienen tal nivel de abstracción o de complejidad, que lo hace incomprensible para los estudiantes y es inoperante en el sentido que no le permite a los mismos estudiantes hacer uso de dicho modelo para resolver problemas.

También es importante realizar actividades experimentales, que acerquen vivencialmente a los estudiantes a una situación de estudio. Estas actividades al favorecer cierto tipo de interacción con el objeto-evento de estudio se constituyen en fuentes de información para la elaboración del modelo, especialmente en el caso de situaciones objeto de estudio que no son frecuentes en las actividades cotidianas de los estudiantes, o que no son objeto de atención cuidadosa. Giordan y De Vecchi (1995) señalan que un modelo científico no es lo primero que se presenta cuando se inicia el proceso de construir modelos con los estudiantes. De ser así, el modelo científico deja su lugar de instrumento, para limitarse a ser un material desconectado y descontextualizado, del cual se espera que se aprehendido e incluso memorizado. Es necesario que los estudiantes después de plantearse preguntas frente a un problema de estudio, adquieran una experiencia inicial con la situación que se estudia. En este sentido, los experimentos

ofrecen la oportunidad a los estudiantes de pensar en el objeto o evento que será explicado, de usar sus experiencias y saberes previos en la solución de un problema (modelar un evento) que no tiene una respuesta inmediata. A su vez, los instrumentos físicos (reglas, telescopios, gnomon, etc.) ayudan a determinar características de ese objeto o fenómeno a ser modelado. En este orden de ideas, el experimento no puede estar centrado en la recopilación de datos o el uso de instrumentos físicos de forma lúdica, sino en acercar la situación de estudio a los estudiantes y la posterior elaboración, evaluación y revisión del modelo elaborado (Justi, 2006). Así como el modelo científico juega un papel importante en el proceso de construir modelos, como instrumento de mediación, los instrumentos de laboratorio (o cualquier dispositivo que tenga el papel de atribuir o aumentar cualidades del objeto a estudiar) juega un papel importante ya que visibilizan aspectos que inicialmente no son evidentes en el objeto de estudio y los datos ofrecen un recurso para interactuar directa o indirectamente con el objeto a estudiar.

Lo anterior implica que el profesor realice unas acciones que afectan la forma en que se enseña la ciencia. La modelización en ciencias refiere a la práctica de un conjunto de procesos relacionados entre sí y con la actividad científica, que dará como resultado modelos científicos sobre objetos y eventos del entorno natural. E implica tener en cuenta un conjunto de acciones que se considera hacen parte de la investigación científica: plantear problemas, formular hipótesis, recolección y análisis de datos, comprobación y reformulación de nuevas hipótesis (enmarcadas en un modelo) que expliquen el evento descrito. Este conjunto de acciones permite hacer un llamado. Si bien se pudiera pensar que este enfoque tiene como meta que el estudiante reconozca los diferentes modelos científicos mediante los cuales se explican aspectos físicos de la naturaleza, e incluso conocer la naturaleza y proceder de la actividad científica (Pozo y Gómez 1998), no necesariamente el estudiante tiene que estar en una postura pasiva frente a esos modelos. De hecho y como se ha anotado con anterioridad, es necesario una actitud activa del estudiante frente a ese objeto natural que se estudia y frente al modelo científico usado para explicar características de ese objeto. Y ello implica que el estudiante experimente un proceso que le lleve a construir su propio modelo. Frente a esto último, Oliva (2019) propone un conjunto de fases que constituyen todo el proceso de construcción de modelos (véase fig. 4), que puede orientar el conjunto de acciones dentro del aula. Aunque si bien Oliva propone esta ruta para entender las fases de la construcción de modelos, este no necesariamente se da en forma completa en las prácticas científicas, ya que se pueden

desarrollar actividades parciales. Por ejemplo, la construcción de modelos puede surgir a partir de pruebas experimentales, cuyo problema de partida no es necesariamente plantear un nuevo modelo a un problema que surge de un sistema físico. Otro ejemplo, es el uso de modelos ya existentes para explicar y predecir fenómenos, o comparar y evaluar modelos para mejorar su potencial explicativo.

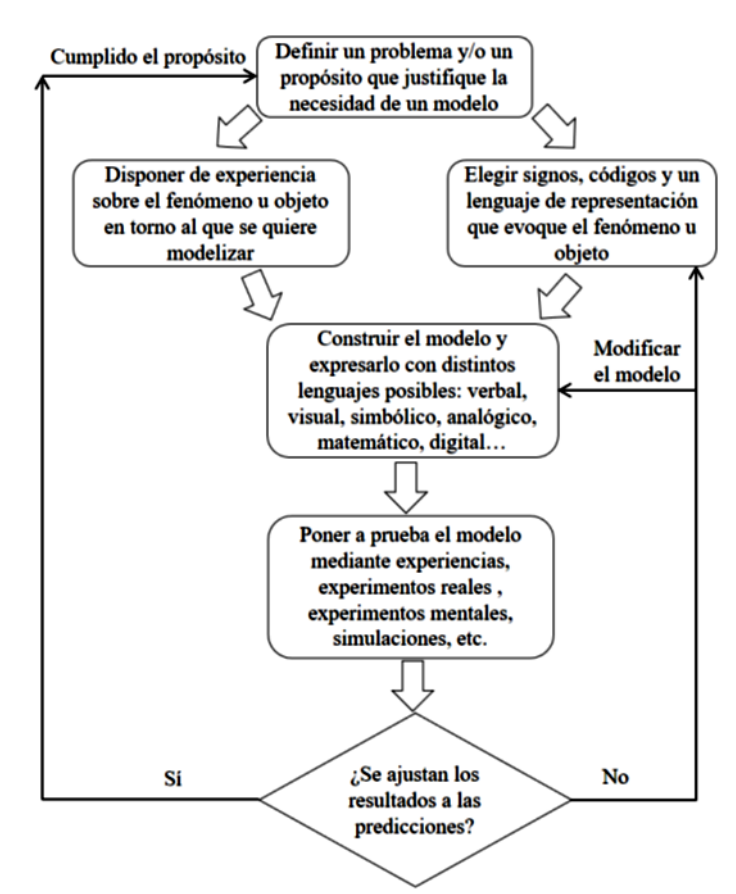


Fig. 4 Ciclo de Modelización. Fuente: Oliva, 2019 p. 9.

De lo anteriormente expuesto, se vislumbra el papel que juega la elaboración de modelos en la construcción de significados por parte del estudiante, frente a un objeto o evento de estudio. La modelización como actividad, proporciona elementos que permite fortalecer procesos cognitivos ya sean simples o complejos, mediante los cuales el estudiante mejora la comprensión y formula explicaciones sobre eventos que suceden en su entorno (Bohórquez y Orozco, 2015). Aquí son importantes los supuestos, ideas, fuentes de conocimiento, las experiencias, preguntas, teorías que se ponen en juego cuando se construye un modelo que es significativo para el estudiante, y le ayudan a articular el lenguaje y los conocimientos que son objeto de aprendizaje en la enseñanza de las ciencias (Godoy, 2018)

Estas formas de entender el modelo y su proceso de construcción, tendrán repercusiones en la forma en que se organiza la enseñanza de las ciencias en la escuela, en términos de las acciones que debe realizar el maestro que se decida por este enfoque, los recursos y actividades que formule, el peso que dé a los saberes teóricos formales, a los saberes de los estudiantes y sus experiencias, y el papel que tengan los estudiantes en la enseñanza de las ciencias.

3.3. Consideraciones Metodológicas

No son pocos los trabajos que realizan un esfuerzo en identificar y sistematizar los orígenes y trayectoria de los modelos que dan cuenta del movimiento de los cuerpos celestes. Por lo tanto, y teniendo en cuenta lo desarrollado en los anteriores apartados y siguiendo los objetivos que permitan al autor de este trabajo responder la pregunta de investigación, se desarrollaron las siguientes fases, descritas en la fig. 5.



Fig. 5 Fases del trabajo de investigación. Fuente: elaboración propia.

En la fase de Contexto Problemático, se identificaron y delimitaron las situaciones problema en torno a la enseñanza de las ciencias y de la astronomía que da origen al presente trabajo, en tanto refleja una preocupación del autor de este trabajo en torno a la enseñanza de la astronomía, en un aspecto concreto que es el estudio en el aula de la posición y movimiento del Sol y de la Luna bajo un enfoque de construcción de modelos.

Este contexto se limita y define con base en la consulta de trabajos que antecedieron a este trabajo y guardan relación por manifestar preocupaciones enmarcadas en la enseñanza de la astronomía. Definido ese contexto, se formuló la pregunta que guía esta investigación *¿Cuáles consideraciones de orden pedagógico, epistémico y disciplinar se deben tener en cuenta, al abordar el estudio de la posición y movimiento del Sol y la Luna desde un enfoque centrado en la construcción de modelos, en la enseñanza de la Astronomía?* y se definieron a través de unos objetivos, las acciones a realizar. El desarrollo de estos aspectos ya se encuentra consignado en los anteriores apartados.

En la fase Referentes Metodológicos, se revisan diferentes autores que se constituyen en referentes para este trabajo en términos de los aportes, criterios y discusiones que ofrecen en torno al papel del modelo en las ciencias, en las explicaciones que elaboran los individuos y la construcción de modelos (o modelización) como enfoque para enseñar ciencias. De estos referentes, se extraen unos criterios a tener en cuenta para la posterior revisión de los modelos históricos que surgieron y ayudaron a explicar la posición y del movimiento de los cuerpos celestes, entre ellos del Sol y de la luna. Una revisión bibliográfica, permitió identificar cuatro modelos que interesan a este trabajo: Griego, Ptolomeo, Copérnico y de Kepler (Bohórquez y Orozco, 2015; Rioja y Ordoñez, 1999, Álvarez, Marquina y Ridaura, 1993; Kuhn 1985).

Los criterios derivados bajo los cuales se abordan estos modelos, son los siguientes. Primero, se constituyen en una estructura racional en la cual se organizaron los datos derivados de las observaciones del cielo, y fueron significativos históricamente en las relaciones que construyeron y visibilizaron los astrónomos (Rioja y Ordoñez, 1999). Y como modelo, estuvieron sujetos a procesos sociales en las que algunos integrantes de una sociedad específica, se plantearon preguntas en torno a un objeto celeste, sus características y el evento asociado. Y junto a esas preguntas, se plantearon explicaciones organizadas que buscaban dar cuenta de ese objeto y el evento en el que están vinculados (posición-movimiento). Segundo, estos modelos estuvieron sometidos a largos procesos de revisión entre los astrónomos y por tanto fueron objeto de discusión, validados, e incluso sirvieran para argumentar, cuestionar y aportar o rechazar la visión de mundo imperante en el momento en el que fueron planteados. Y tercero, ofrecen descripciones directas o indirectas a la posición y movimiento del Sol y la Luna respecto

a un observador en la Tierra⁵, y que por lo tanto favoreció la aceptación de estos modelos con fines educativos y divulgativos, y por tanto sirvieron para argumentar y sostener el marco teórico dominante en esa época asociada al modelo.

En la fase que corresponde a los Referentes históricos, que será desarrollada en los siguientes capítulos (al igual que las fases restantes) y bajo los anteriores criterios, los modelos serán descritos desde las características retomadas de la propuesta de Morrison y Morgan (1999) a saber: el proceso de construcción, la función y el poder de representación. Para identificar las características mencionadas, los modelos serán expuestos en este trabajo, iniciando con la descripción general del modelo, el problema que resuelven y la forma en que lo hacen, el marco teórico que enmarca ese modelo, los instrumentos que permitieron tomar datos en torno a las posiciones, y los límites y problemas que se derivaron del modelo.

En la descripción general, se presentan aspectos asociados a su construcción, posibles preguntas que motivaran la elaboración de dicho modelo, el dominio de fenómenos que se aborda con el modelo, junto a la forma en que representa y los elementos que usa para simplificar o abstraer el objeto de estudio. En la descripción del marco teórico del modelo, se intenta dar cuenta de los referentes teóricos desde los cuales se concibe y estructura el modelo, así como la función del modelo en términos de como este soporta el marco teórico desde el cual se construye. Respecto a los instrumentos, junto a la descripción de aquellos que son relevantes en términos de la información que pueden proporcionar respecto a la posición de un astro, se aborda de ser posible el papel que tienen dentro del modelo. Es de aclarar en este punto, que los instrumentos que serán mencionados, no fue posible abarcar la totalidad de los que fueron usados en una época, debido a la dificultad que representa obtener información de todos los instrumentos utilizados, debido a la limitada cantidad de trabajos que hacen una descripción detallada de dichos instrumentos y algunas dificultades asociadas al acceso y consulta de los mismos.

⁵ Existen otros modelos del universo, (modelos derivados de la ley gravitacional de Newton, modelos galácticos) que ofrecen una explicación en torno a la posición y movimiento de los cuerpos celestes dentro del sistema solar y respecto a la galaxia, o explican las causas de los movimientos. En ese sentido, son otras las preguntas que se responden, que si bien son interesantes, el autor considera que responder por la descripción de la posición y el movimiento de los astros, especialmente el sol y la luna, desde la tierra, deben anteceder a las causas de dichos movimientos dentro de una propuesta de aula.

Y como último apartado para cada modelo, se describirán las limitaciones de los modelos, para explicar los problemas que surgen dentro de cada modelo y si es posible, de su marco teórico desde el cual se construyó. También para dar cuenta de la pérdida de funcionalidad en tanto se pierde la precisión para describir lo observado en la naturaleza. Esto a consecuencia de la aparición de nuevos datos, frente a los que el modelo no puede ofrecer respuestas o presenta dificultades en términos de las limitadas explicaciones que pueda aportar. Esto servirá de prelude para un modelo posterior, y así comprender como se formuló este nuevo modelo para resolver problemas que, o no pudo responder el modelo anterior, o que se derivan de su planteamiento.

En la fase Consideraciones Pedagógicas, Epistémicas y Disciplinarias, se espera que el análisis realizado, centrado en el modelo desde el contexto de la ciencia, desde el papel que juega en las explicaciones de los individuos, y su papel en la enseñanza de las ciencias, junto a la revisión histórica de los modelos en torno a la posición y movimiento del Sol y de la luna, permita delimitar algunas consideraciones de orden disciplinar, epistémico y disciplinar. Las consideraciones pedagógicas ayudaran a definir el sentido de la enseñanza de la astronomía y la manera como el docente y el estudiante se relacionan en el proceso de enseñar y aprender. Las consideraciones de orden epistemológico, ayudaran a identificar las concepciones de mundo que subyacen a los modelos y el proceder involucrado en la construcción de saberes, asociados a algunos de los modelos construidos históricamente por la astronomía. Y las consideraciones disciplinarias permiten comprender de qué manera se ha organizado el movimiento de los cuerpos celestes, los fenómenos que se vinculan a ello, junto a las estrategias y las formas de proceder cuando se desea evidenciar y comprender los eventos celestes en torno a la posición y movimiento de los cuerpos celestes u otros relacionados.

Como producto de las anteriores acciones, en la fase de Diseño de la propuesta, se recogen las consideraciones obtenidas y se organizan en una secuencia de actividades específicas que se diseñan en función de esas consideraciones. Estas actividades se organizan en una estructura retomada de Oliva (2019), la cual demarca cuatro momentos dentro del diseño de la propuesta (Capítulo 5). En cada uno de esos momentos, se describen las actividades sugeridas para su implementación, teniendo en cuenta la revisión de antecedentes en torno a las representaciones y actividades que se suelen llevar al aula, para plantear una propuesta que ofrezca actividades que en primera instancia respondan a los propósitos de este trabajo y segundo, aporten al abanico de actividades ya

existentes que se suelen encontrar en los trabajos consultados, pero bajo un hilo conductor que de sentido al objeto de estudio para los estudiantes.

Es de anotar que la descripción de la propuesta favorece la descripción de las actividades y las consideraciones que se considera pertinentes en cada fase de la propuesta, por lo cual la propuesta no se constituye en un diseño prescriptivo en términos de constituirse en una guía que se deba seguir al pie de la letra. De hecho la intención es ofrecer un diseño de actividades que el maestro someta a su consideración de acuerdo a las condiciones y características educativas, sociales, económicas, espaciales, entre otras, de la población objetivo de dicha propuesta: semilleros, clubes de astronomía, educación formal, proyecto transversal, etc. Por esta misma razón, el maestro no encontrará objetivos de actividad o indicadores de evaluación de aprendizaje, ni descripciones rigurosamente detalladas, considerando el autor de esta propuesta que dichos objetivos o indicadores, responden a las condiciones particulares de la población objetivo, pero si el maestro lo considera pertinente se pueden derivar de algunas consideraciones propuestas. Además es necesario tener en cuenta la pertinencia de que el diseño sea flexible, en la medida que le permita al maestro desde su propia experiencia docente y sus criterios, ajustar las actividades en función de los contextos, habilidades y niveles educativos de los estudiantes.

Finalmente, en la fase de Reflexiones finales, se recogen aspectos frente a los cuales, el presente trabajo aporta a la discusión de las problemáticas descritas inicialmente, las implicaciones que tienen para el autor, los alcances y limitaciones, y las posibilidades que se abren o evidencian a partir del presente trabajo en términos de otras posibilidades de trabajos a desarrollar, teniendo en cuenta que esta propuesta no fue implementada⁶, pero en espera que su desarrollo en una clase permita evidenciar aspectos que se pasaron por alto o que surgen de los propios estudiantes en su propio proceso de aprendizaje, que a criterio del autor serán significativas en tanto se sistematicen y comuniquen, aportando aún más al conjunto de trabajos en torno a la enseñanza de la Astronomía.

⁶ En su forma inicial, este trabajo contempló y gestionó la intervención en un grupo escolar de grado cuarto, en una institución educativa pública de Bogotá D.C. Pero debido a las condiciones sanitarias asociadas a la pandemia, no fue posible desarrollar las actividades propuestas en este trabajo.

4. Modelos Históricos en Torno a la Posición y Movimiento de los Cuerpos Celestes

La necesidad de entender el mundo, en términos de cómo funciona este y de establecer los principios y leyes que regulan su funcionamiento, ha llevado a los diferentes grupos humanos a elaborar diferentes explicaciones, a lo largo de la historia y en diferentes contextos sociales. Esas explicaciones estuvieron permeadas por creencias metafísicas en unos primeros momentos históricos, para después dar paso a explicaciones que tratan de establecer acuerdos entre las creencias metafísicas con el pensamiento lógico. Y después se construyeron modelos cosmológicos que buscan privilegiar los argumentos basados en la razón y la lógica, y son sustentados por nuevos conceptos de orden matemático que dejaron atrás (o todavía intentan) cualquier idea metafísica que se haya tenido del mundo.

4.1. Modelo Griego

El modelo griego, surge como lo señala su nombre, en la cultura Griega alrededor del siglo VI a.E.C⁷, gracias a la acumulación y organización de los datos astronómicos recogidos durante los siglos anteriores. En este modelo, se organizaron los cuerpos celestes conocidos para ese entonces, a saber la Luna, el Sol, y las estrellas fijas y errantes. En un sistema de esferas que se contenían una dentro de otra, es decir, son concéntricas. Dicha organización ayudo a explicar el tiempo que tardaba en desplazarse un cuerpo sobre el fondo celeste, en torno a la Tierra y las variaciones en el movimiento que presentaban los cuerpos celestes.

En este modelo, la Tierra ocupaba el centro, seguida por una esfera externa que contenía la Luna, seguida a su vez, de las esferas en las que estaban fijas otros cuerpos en el siguiente orden: Mercurio, Venus, el Sol, Marte, Júpiter, Saturno y la esfera de las estrellas (véase fig. 6). Es de anotar que los planetas no eran entendidos como en la actualidad, es decir cuerpos rocosos y esféricos que orbitan alrededor de una estrella. Por planeta, los griegos se referían a estrellas que tenían un comportamiento aparentemente errático pero regular respecto a la mayoría de estrellas del firmamento, ya fuera que se adelantaran o atrasaran en sus posiciones.

⁷ a.E.C.: antes de la era común.



Fig. 6: Modelo Griego del Universo. Fuente: Apiano, 1575. p. 18.

En este modelo, las estrellas fijas constituyen uno de los puntos de referencia para describir el cambio de posición de los diferentes cuerpos celestes. Y otro punto de referencia desde el cual medir el cambio de posición de un cuerpo celeste, es el horizonte local del observador considerando que este se encuentra en una esfera fija en el centro del universo e inmóvil.

4.1.1. Problema abordado por el modelo griego

Parece ser que el problema que motiva al desarrollo del modelo Griego, gira en torno a la organización de los cuerpos celestes, en una estructura que le dé sentido a las posiciones y movimientos observados, ya que este es un aspecto que destaca el modelo. Bajo esa idea las posibles preguntas que se respondían con el modelo griego eran: ¿Cómo organizar los diferentes cuerpos celestes que se mueven respecto al fondo estelar? Y ¿Cómo explicar y organizar los diferentes cambios en las posiciones y en consecuencia los movimientos descritos por los cuerpos celestes? (Rioja y Ordoñez, 1999; Kuhn 1985) Respecto a la primera pregunta, uno de los criterios para organizar los cuerpos celestes, fue el tiempo que les toma a algunos cuerpos para desplazarse por el cielo, respecto al fondo de estrellas tomado como punto de referencia. Por lo tanto, el orden desde la esfera

interna hacia la externa, era el siguiente según los tiempos de desplazamiento observados: Luna (1 mes), Mercurio (1 año), Venus (1 año), el Sol (1 año), Marte (~2 años), Júpiter (~12 años) y Saturno (~29 años)⁸.

Pero el movimiento de los cuerpos celestes suponía en sí otro problema y corresponde a cuál sería la trayectoria, de tal forma que sea posible ver un cuerpo en la misma zona del cielo con cierta regularidad. Los griegos propusieron como solución asumir la esfericidad del cosmos y de la Tierra. Un argumento que sostiene esta afirmación es que los cuerpos celestes, al igual que las esferas de las estrellas, se desplazan en sentido este-oeste, repitiéndose esta situación todos los días. Si son los mismos cuerpos que se observan día tras día (o eso se supone a partir de la identificación del mismo cuerpo a través de la misma posición relativa entre ellos, como algunos aspectos característicos como el brillo o color), y al observar que estos cuerpos suben desde el horizonte (en el este) hacia la parte más alta del cielo, y después descienden de nuevo hacia el horizonte (en el oeste), infirieron que cuerpos celestes continúan su trayectoria por debajo del horizonte del observador para llegar de nuevo al este.

Un dato observacional que permitió asumir esa idea y fundamentar la idea de una Tierra y universo esférico, fue la trayectoria de las estrellas fijas alrededor de la estrella polar (estrella que demarca el polo norte celeste), en las cuales se aprecia una trayectoria circular. En la medida que el observador se desplace hacia las zonas meridionales del planeta, es decir, se aleja de los polos (véase fig. 7), advertirá que la estrella polar cada vez se acerca más al horizonte, y que las estrellas que “giran” en torno a la estrella polar, se esconden bajo el horizonte (noroeste) para después volver a ascender (por el noreste) (véase fig. 8).

⁸ Debido a la similitud del tiempo entre Mercurio, Venus y el Sol, se planteó otra secuencia: Luna, Sol, Mercurio, Venus, Marte, etc. Finalmente el hecho de que Mercurio y Venus no se alejaran del sol, fue tenido en cuenta por los astrónomos griegos y se decidiera el orden mencionado en el párrafo.

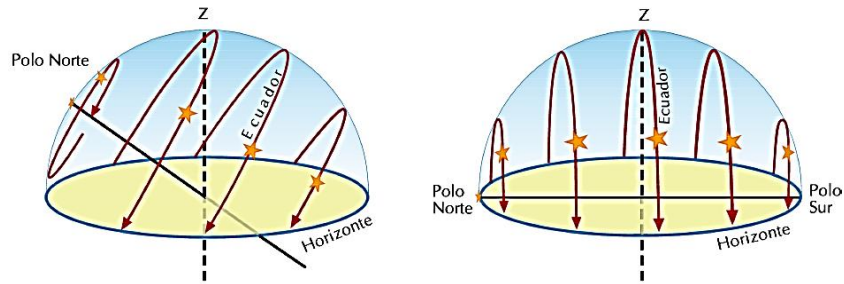


Fig. 7: Trayectoria de las estrellas según la posición del observador en la tierra.
 Izq.: en cercanías del norte geográfico. Der: sobre las zonas meridionales. Fuente:
 Rojas, 2012. p.17.

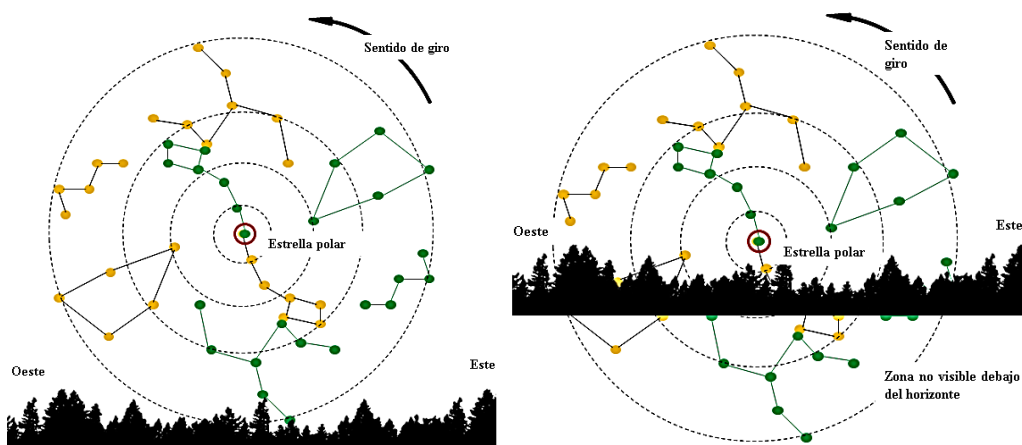


Fig. 8: Detalle del desplazamiento de las estrellas en torno a la estrella polar.
 Amarillo posición inicial, verde posición después de 12 horas. Izq.: observador
 ubicado en zonas septentrionales; Der: observador ubicado en zonas meridionales.
 Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la segunda pregunta, en términos de explicar y organizar los diferentes cambios en las posiciones y movimientos descritos por los cuerpos celestes, el modelo griego ofreció diferentes soluciones, de las cuales se recogen aquí las que refieren al movimiento del Sol, de la Luna y de los planetas.

Respecto a los movimientos aparentes del Sol, se observó que la trayectoria circular del Sol, se inclina $23,5^\circ$ a ambos lados del ecuador celeste⁹. Esta desviación no es constante durante el año. En dos días específicos del año, la trayectoria del Sol se encuentra justo sobre el ecuador celeste. La fecha en que se observa esta posición, es llamada equinoccio de primavera (aproximadamente el 21 de marzo) y de otoño

⁹ Este es un círculo “imaginario” cuyo plano se encuentra a 90° respecto del eje terrestre, comprendido entre el polo norte celeste o estrella polar, y el polo sur celeste.

(aproximadamente el 23 de septiembre). Pero en otros momentos del año, el Sol se encuentra más distante del ecuador hacia el norte, día que se denomina solsticio de verano (aproximadamente el 22 de junio) o al sur del ecuador, día conocido como solsticio de invierno (aproximadamente el 22 de diciembre) (véase fig. 9).

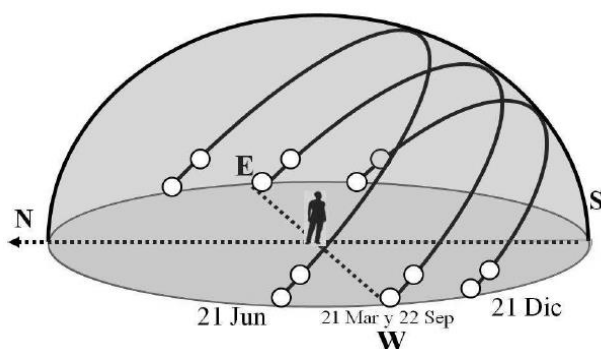


Fig. 9: Trayectorias del Sol percibidas por un observador ubicado en el hemisferio norte, en diferentes días del año. De izq. a derecha: Solsticio de verano, equinoccios, solsticio de invierno. Fuente: Mendoza, 2010. p.11

Por otra parte el Sol presenta dos tipos de movimiento aparente: anual y diurno. El movimiento anual tiene relación con el tiempo que tarda el Sol en pasar sobre el mismo punto de la esfera celeste¹⁰. Y el movimiento diurno, en el cual el Sol recorre el cielo durante el día y pasa por el mismo punto respecto al horizonte terrestre. Estos movimientos presentan dos tiempos diferentes, en términos del punto de referencia usado para medirlo: respecto a un punto en el fondo de estrellas o esfera celeste, el Sol demora 23 h 56 min en realizar una vuelta completa (360° respecto al observador), mientras que respecto al horizonte del observador tarda 24 horas (aproximadamente 361° respecto al observador).

Para el caso de la luna, se observó que esta también presenta dos movimientos aparentes: diurno y mensual. El movimiento diurno es el que describe junto a los demás cuerpos celestes, incluido el Sol, desde su salida por el este, hasta su puesta por el oeste. Una revolución completa tarda un poco más de 24 horas. Por otra parte, en el movimiento mensual se observan dos tiempos diferentes. Si se mide tiempo entre dos fases de la Luna (fases iguales), llamado mes sinódico, tarda 29,5 días. Pero si es respecto a una posición en la esfera celeste, tiempo conocido como mes sidéreo, tarda 27,5 días.

¹⁰ Este punto se mide de forma indirecta, ya que la atmosfera en presencia del sol, no hace posible apreciar las estrellas de fondo durante el día. Este punto se determina observando las estrellas más próximas al sol, que se hacen visibles cuando el sol se oculta en el horizonte o antes del amanecer.

La trayectoria de la Luna también presenta una desviación respecto a la trayectoria que realiza el Sol en el cielo (eclíptica) que es de 5° (véase fig. 10).

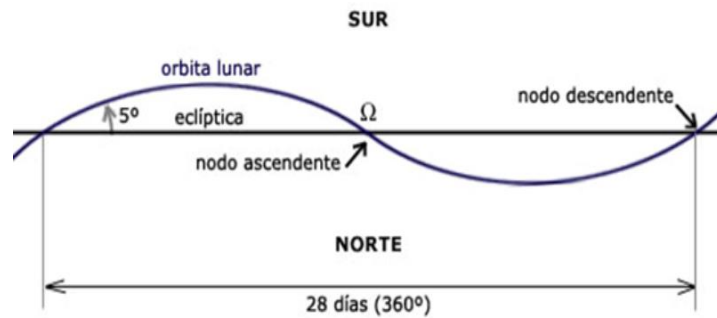


Fig. 10: Variación de la trayectoria de la Luna respecto a la eclíptica o trayectoria del Sol. Fuente: Bernardini, 2011.

En cuanto al movimiento errante de algunos planetas (estrellas para los griegos)¹¹, se observó que estas avanzaban en sentido este-oeste, para luego aminorar su velocidad, detenerse y retroceder sentido oeste-este respecto a la esfera celeste durante un margen de tiempo, y finalmente retomar de nuevo la dirección este-oeste respecto a las estrellas del fondo celeste (véase fig. 11). Este movimiento retrógrado se repite con cierta regularidad para cada planeta.

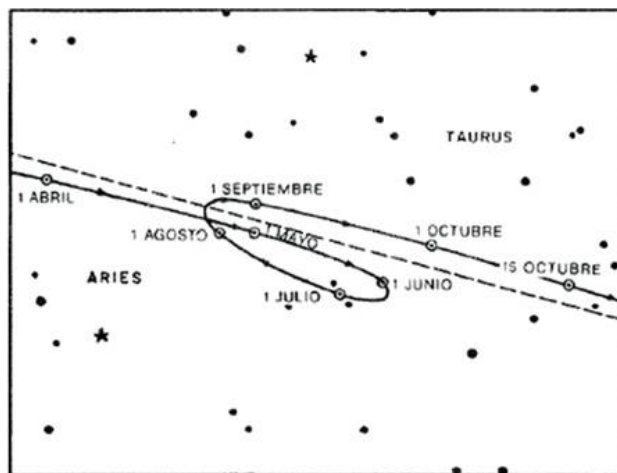


Fig. 11: Movimiento retrógrado de Marte. Fuente: Kuhn, 1985. p. 48.

Como solución a esos movimientos errantes, Eudoxo (390-337 a.E.C.) y posteriormente ampliada por su discípulo Calipo (370-310 a.E.C.), introdujeron al modelo, esferas adjuntas en las que sostenían los astros. De esta forma, intentaban

¹¹ Es gracias a este movimiento que se les dio el nombre de astros errantes o planetas. Ya sería mucho tiempo después que se descubriría la naturaleza que diferencia estos cuerpos de una estrella, y que el sentido de la palabra “planeta” cambiaría hacia la definición actual.

explicar los movimientos requeridos para justificar las observaciones realizadas en torno a los movimientos retrógrados. El movimiento del Sol se descomponía en dos movimientos más simples, a saber el movimiento anual y el movimiento diario. Para ello Eudoxo y Calipo proponían dos esferas adicionales para explicar dichos movimientos. La primera esfera daría cuenta del movimiento diario de las estrellas, y su eje estaría en línea con el eje de la esfera de las estrellas. La segunda esfera del Sol, que está dentro de la primera, permitiría explicar el recorrido anual del Sol, y su eje estaría inclinado $23,5^\circ$ respecto al eje de la esfera terrestre. Y una tercera esfera más interna en la cual esta fija el Sol, explicaría una ligera desviación del Sol respecto de la eclíptica (su trayectoria regular en el cielo) de 1° .

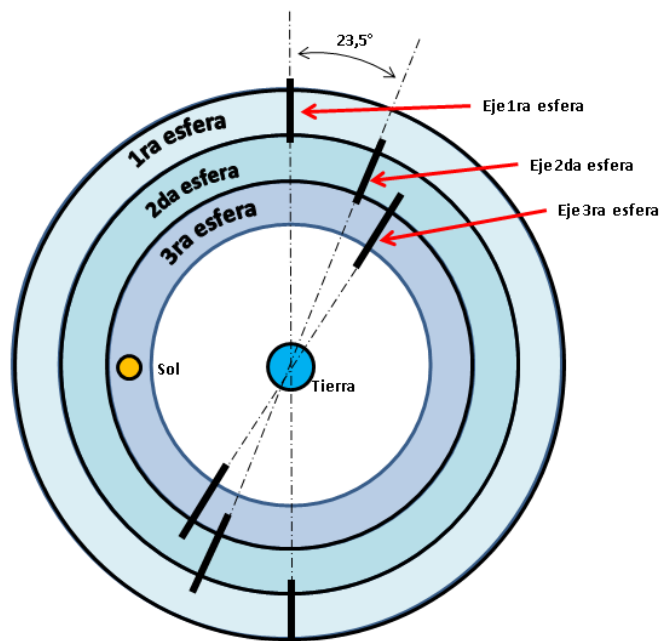


Fig. 12: Esferas del Sol propuestas por Eudoxo y Calipo. Fuente: adaptado de Rioja y Ordoñez, 1999. p. 130.

El caso de la Luna es similar. Esta es impulsada por tres esferas, la primera corresponde al movimiento diario, la segunda para explicar la diferencia entre el mes sinódico (tiempo entre la misma fase lunar) y el mes sidéreo (tiempo en atravesar la eclíptica). Y la tercera esfera en la cual esta fija la luna, para explicar el desfase de 5° de lado y lado de la eclíptica. Esta misma disposición y el hecho de que se encontraba más cerca de la Tierra que el Sol, bastaba para explicar las fases lunares, las cuales se debían al cambio de posición relativo entre la Luna y el Sol, respecto a la Tierra fija. En el caso de los planetas, se consideraba un mínimo de dos esferas para cada planeta. La primera

esfera (externa) da cuenta del movimiento diurno del astro, y la segunda para explicar la vuelta que realiza el astro a lo largo de la eclíptica. Para aquellos planetas que presentan movimientos retrógrados, estas esferas aumentan a cuatro, en las que varía la velocidad y el sentido de giro, haciendo el sistema más complejo en términos geométricos. Ello llevaría a que el modelo griego contemplara más de 27 esferas, o posteriormente bajo la revisión de Aristóteles, alcanzara un total de 55 esferas (Kuhn, 1985).

4.1.2. Marco teórico del modelo griego

La primera persona que parece proponer formalmente un orden para el universo fue Anaximandro (610 – 545 a.E.C.), quien considera que los cuerpos celestes sean orificios sobre una especie de rueda que está en rotación. Después, Pitágoras (580 – (¿500?) a.E.C.) formula que la Tierra esférica es el centro de un conjunto de esferas en las que se encuentran fijos los astros. Ya en la escuela pitagórica (siglo VI a.E.C.), se consolida uno de los conceptos que les permite organizar el cosmos, y es la idea de la armonía universal. Se concibió que si los números y la geometría describan las formas del mundo, la armonía musical, entre otras, estos también aplicaban en la descripción del comportamiento del cosmos, y en consecuencia, el movimiento de los cuerpos celestes. Un elemento geométrico que permite estructurar la disposición de los cuerpos celestes es el círculo, en virtud de que a esta figura se atribuyen el ideal de armonía y simetría (Rioja y Ordoñez, 1999; Álvarez *et al* 1993; Kuhn 1985).

Posteriormente, Platón (428-347 a.E.C.) retoma algunos elementos de la escuela pitagórica y realiza sus propios aportes con lo cual consolida el círculo como elemento organizador en los modelos del universo. Él plantea la dualidad entre el mundo de las ideas caracterizado por la inmutabilidad y perpetuidad, y el mundo sensible (o terrenal) que está conformado y habitado por objetos mutables, temporales y perceptibles. Platón considera que para alcanzar las “verdades” del mundo de las ideas, materializado en el firmamento, es necesario comprender cómo está organizado el mundo celeste. Dicho orden se caracteriza por la simetría que permite mantener el cosmos constante e inalterable. En ese sentido, el papel de la geometría según Platón, es descubrir las leyes que ordenan el cosmos. En ese orden de ideas, el círculo y su homólogo tridimensional, la esfera, son formas que cumplen con los atributos de belleza mencionados. De esto, se deriva que el movimiento perfecto para los cuerpos celestes es el movimiento que

describa una trayectoria circular (Soler, 2008; Rioja y Ordoñez, 1999; Álvarez *et al*, 1993).

Es Aristóteles (384-322 a.E.C.) quien consolida una física del mundo y del universo, que se sustenta en hechos basados y observados en la experiencia cotidiana. Aristóteles si bien comparte con Platón la división de un mundo supra lunar (o del cielo) y el mundo sensible o mundo sublunar (o Tierra), él construye una física de las cosas sensibles y terrestres, y una física de lo celeste a partir de la idea central del cambio que experimentan las cosas. Aristóteles considero importantes los cambios en torno al tamaño (cantidad de materia) la cualidad (olor, color, etc.) y el lugar (movimiento). Esta visión particular, le permitió proponer una organización del universo que privilegia las causas y los efectos de los cambios que se observan a través de los sentidos, sobre las posibles leyes a las que pueden obedecer. Esa física planteada por Aristóteles, sirvió de referente para los pensadores y especialmente los astrónomos de los siglos venideros (Rioja y Ordoñez, 1999; Kuhn 1985).

Aristóteles consideraba que el cosmos estaba contenido dentro de la esfera de las estrellas o esfera celeste. Dentro de ésta última, se encuentran otras esferas concéntricas de éter que contienen otras esferas, para un total de 55 esferas. Dicho éter era considerado una sustancia sólida, transparente, pura, inalterable y sin peso. El límite superior es la esfera de las estrellas y el interno era la esfera lunar. Cada una de las esferas sostenía cada uno de los planetas conocidos, de modo que cada planeta se movían por la acción de varias esferas. Y el movimiento de las esferas tenía su origen en el movimiento motor inagotable de la esfera de las estrellas transmitido por fricción entre cada esfera interna. Respecto a la mecánica que explicaba esos movimientos, Aristóteles adopto el sistema matemático de Eudoxo y Calipo ya mencionado (Rioja y Ordoñez, 1999; Kuhn 1985).

Aristóteles consideraba que el mundo sublunar, estaba ocupado por cuatro elementos organizados desde el centro del universo y por tanto de la Tierra, hacia el exterior (tierra, agua, aire y fuego). La Tierra en este modelo se encuentra inmóvil y en el centro del cosmos, como resultado de una física del movimiento formulada por Aristóteles (Kuhn 1985). Él consideraba que los cuerpos tenían la tendencia a ocupar una posición específica en el mundo sublunar en virtud de su composición. Por lo tanto los cuerpos más pesados (que estarán compuestos en mayor medida de tierra) tienden a ocupar su respectiva posición natural, que es cerca al centro del universo, con otros

cuerpos de la misma naturaleza pesada. Cuando un cuerpo es alejado de su posición natural, este se resiste a dicho cambio. Siempre que se levanta un cuerpo pesado a cierta altura, este cae sobre el mismo emplazamiento sobre el que se encontraba porque era su posición natural. Este argumento sirvió para justificar la esfericidad de la Tierra, la cual es producto de una distribución regular de los cuerpos pesados respecto a un centro. La única forma geométrica que permite la mayor regularidad posible es la esfera. Y también tiene implicaciones en la forma del universo, su extensión y la forma en que se mueven los cuerpos celestes, el cual sería esférico y finito. Un universo infinito no tendría un centro determinado, respecto al cual caen los cuerpos. Y un universo no esférico no sería regular en sus movimientos (Rioja y Ordoñez, 1999; Kuhn 1985).

Respecto a la inmovilidad de la Tierra, el argumento planteado a partir de la física de Aristóteles era que si esta se movía, cuando se levantaba un cuerpo del suelo y ser liberado posteriormente, éste caería en un sitio distanciado de ese punto de donde fue recogido, lo cual no sucede en la práctica. El cuerpo al caer describe una trayectoria recta hacia abajo. A esto se suma la observación cotidiana (o al menos para el antiguo griego) sobre los diferentes cuerpos presentes en la esfera del aire (aves, nubes, el mismo aire). Estos no presentan movimientos bruscos respecto a un punto terrestre o el observador, ni desaparecen en breve, sino que se mantienen relativamente en la misma posición (excepto por la acción que imprimen las aves sobre el aire, o las corrientes de aire que desplazan las nubes). Aunque si bien se podría esgrimir el argumento de que una Tierra en movimiento arrastraría consigo el aire, y este a su vez los cuerpos sobre la tierra, se consideraba que la acción de aire por sí misma no sería suficiente para causar el movimiento simultaneo entre la tierra y un cuerpo pesado (Kuhn, 1985). Este conjunto de explicaciones, impidió que maduraran otras formas de concebir el universo y la materia que surgieron con anterioridad o en los siglos posteriores a Aristóteles. Claro está, un punto en contra de esas otras perspectivas, es que carecían de los fundamentos observacionales y de los argumentos para ser sostenibles y aceptados dentro de la astronomía. Dichos datos y conceptos necesarios, no llegarían sino hasta mucho tiempo después.

Con base en lo anterior, el desarrollo del modelo astronómico griego, implicó asumir una serie de premisas a saber: todos los cuerpos celestes, incluida la Tierra, tienen forma esférica; el universo es esférico, y por tanto finito; la Tierra ocupa el centro del

universo y es respecto a ella que se mueven los cuerpos celestes. En consecuencia los movimientos realizados por los cuerpos celestes son circulares y regulares.

4.1.3. Instrumentos astronómicos del modelo griego.

No es posible determinar con toda certeza, la totalidad de los instrumentos y técnicas usados en la observación dentro de la cultura griega, por lo que se realizara una aproximación a dos instrumentos y la forma de uso de estos. Parece ser que el gnomon es el instrumento más antiguo del que se tiene conocimiento en la observación del Sol (Rioja y Ordoñez, 1999; Kuhn, 1985). Este instrumento si bien fue usado por otras culturas (Babilonia y Egiptia), hay registros históricos que señalan este fue usado en la cultura griega (González, 2005; Ten y Monros, 1984). Respecto a este instrumento, sus características ya fueron descritas anteriormente¹², a lo cual se debe añadir que la sombra que este proyecta, tanto en su longitud como la dirección permiten determinar la posición del Sol, a lo largo de su movimiento aparente por la bóveda celeste.

Ello es posible en tanto el extremo del gnomon, el extremo de la sombra producida y la posición aparente del Sol en el cielo, se encuentran en todo momento alineadas. Bajo esa condición, se podía determinar la posición del Sol respecto del observador en dos sentidos: la altura y la posición cardinal. Para el primer caso basta con determinar el ángulo formado entre la superficie horizontal en que se encuentra el gnomon y la línea que se proyecta entre el Sol, la punta del gnomon y la punta de la sombra proyectada¹³. Y para determinar la posición cardinal, la sombra señala la dirección opuesta en la que se encuentra el Sol. Si se realiza un registro de las diferentes posiciones que describe la punta de la sombra durante el día, es posible observar el movimiento descrito por el Sol (véase fig. 13).

¹² En Los modelos explicativos de los sujetos y fig. 2.

¹³ El ángulo se determina por medio de la razón trigonométrica que relaciona la tangente del dicho ángulo, con el cociente entre la altura del gnomon y la longitud de la sombra.

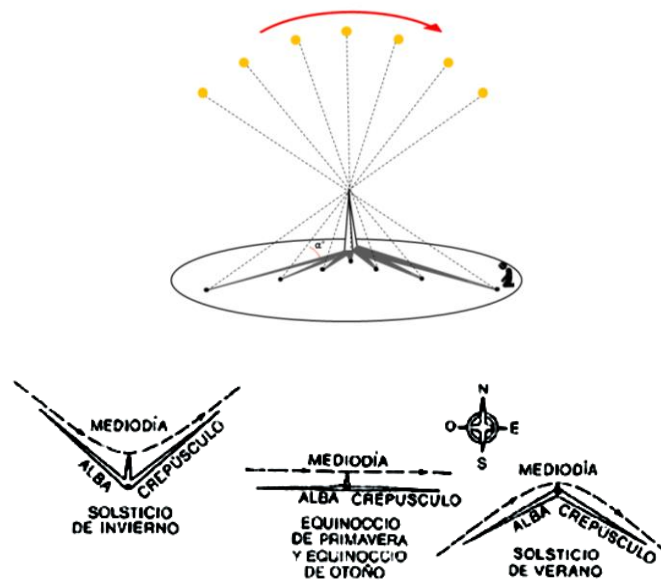


Fig. 132: Arriba: Obtención del ángulo de altura del Sol y de las sucesivas posiciones en su movimiento aparente. Abajo: trayectoria registrada del movimiento aparente del Sol en diferentes momentos del año. Fuentes: elaboración Propia (arriba); Kuhn, 1985, p. 12 (abajo).

Otro instrumento usado y que permitió determinar la posición de cuerpos celestes nocturnos y de la luna, fue el cuadrante. Este consiste en una superficie sólida cuya forma se aproxima en algunos ejemplares a la cuarta parte de un disco, en cuyo borde circular se encuentra grabada una escala que permite medir magnitudes angulares. Sobre un borde recto se encuentra una mirilla que sostiene en sus extremos dos elementos prominentes los cuales se alinean visualmente hacia el astro del cual se desea obtener su altura. Y en el vértice del cuadrante, se encuentra una plomada, que al caer en forma perpendicular respecto a la escala, señala en esta el valor del ángulo de la altura del cuerpo observado (véase fig. 14).

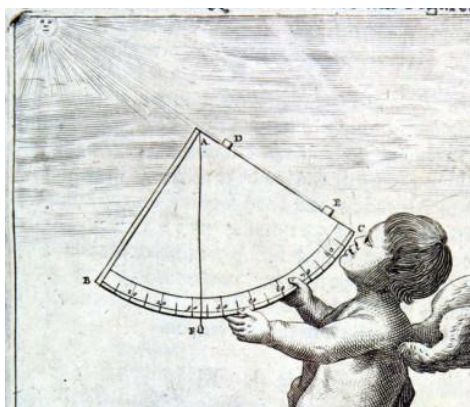


Fig. 14 Cuadrante astronómico. Fuente: The Library at The Mariners' Museum, 1767.

En su forma simple, este instrumento solo permite determinar la altitud, mas no el valor exacto de la posición cardinal del cuerpo observado respecto al norte. Una variante de este instrumento conocido como dioptra y atribuida a los griegos, permitía determinar este valor, llamado azimut, que es el valor del ángulo medido desde el norte geográfico, sobre el horizonte, respecto al observador (Barbero, 2014; Camacho, Sánchez, Vega y Cuevas, 2011). Para ello dispone de una escala graduada en un disco horizontal, sobre el cual se coloca el cuadrante (véase fig. 15).

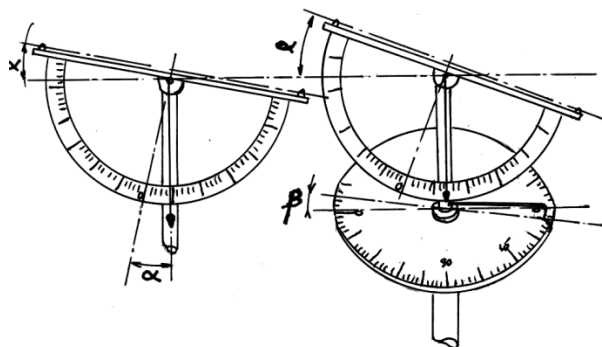


Fig. 15: Dioptra izq.: variante simple. Der: con escala horizontal. Fuente: Camacho, Sánchez, Vega y Cuevas, 2011. p. 131.

Los instrumentos descritos dan cuenta de varios aspectos respecto al modelo griego. Hacen uso inmediato de puntos de referencia locales para el observador, entre ellas el horizonte y la orientación que se puede tener en dicho horizonte, tomando como referencia el punto por el cual sale el Sol (este) o el punto en el que se pone (oeste). Estos a su vez permitían determinar otros puntos cardinales. Y junto a estos, la posición de los astros era descrita por medio del uso de un sistema de referencia respecto a la esfera terrestre, que permitía determinar el azimut y la altitud de dicho cuerpo, en dicho sistema

de referencias. Estos sistemas de referencia son conocidos en la actualidad como coordenadas celestes locales (véase fig. 16 izq.). Ahora bien, a su vez esos sistemas de referencia parten del supuesto de un observador estático, que se ubica en el punto central de una esfera. En ese sentido, el sistema de referencia inmediato para un observador, que es de carácter local, tiene como referencia al observador ubicado en un punto central y estático.

En el caso de que el observador se encontrara en diferentes puntos de la esfera terrestre, fue necesario concebir un sistema de referencias que diera la posibilidad de describir los datos obtenidos por observadores ubicados en diferentes puntos de la esfera terrestre. Este nuevo sistema de referencias, asume la esfera terrestre como un punto central y estático respecto a una esfera celeste que rodea las esferas planetarias. Esta esfera celeste actúa como punto de referencia que permite comparar las posiciones de los cuerpos celestes, especialmente para aquellos astros que se observan en la noche como la luna (véase fig. 16 der.). Y el papel de los instrumentos fue medir las posiciones relativas de los astros en el sistema de coordenadas local, para posteriormente definir dicha posición en el sistema de referencias celeste.

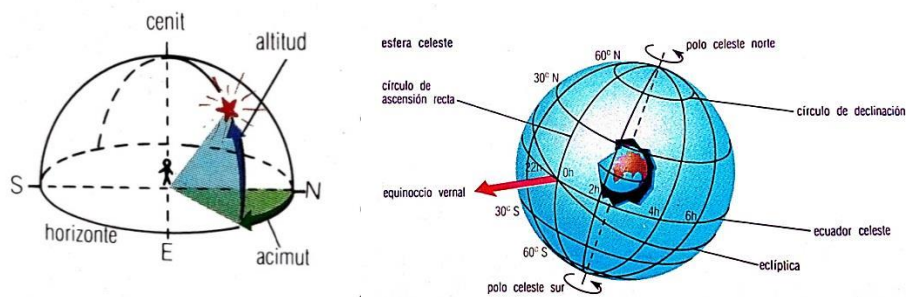


Fig. 16 izq.: sistema de referencia local para determinar localmente la posición de un astro. Der: Sistema de referencia celeste o ecuatorial como se denomina en la actualidad para determinar la posición celeste de un astro respecto a la Tierra.

Fuente: Ridpath, 1987. p. 8, 11.

Otro aspecto interesante, es que los instrumentos usados, solo permiten determinar la posición de los cuerpos en términos de su altura y la distancia angular respecto al norte geográfico, pero no permiten estimar la distancia longitudinal de dicho cuerpo a la Tierra. Parece ser que esta distancia no es una preocupación de primer orden, en tanto ya se establecen esas distancias bajo la consideración de que los planetas se encuentran enmarcados dentro de esfera celestes, de las cuales se podía estimar su distancia

conociendo los periodos que le tomaban a cada planeta ocupar la misma posición en la esfera celeste.

4.1.4. Limitaciones del Modelo Griego

Las observaciones permitieron hacer evidentes varias situaciones que plantearon más problemas. Una de ellas es la variación del brillo de algunos cuerpos celestes (Mercurio, Venus y Marte) a lo largo del año y el cambio en el tamaño aparente del Sol y de la luna¹⁴, Tampoco explicaba la diferencia de 6 días entre el desplazamiento del Sol del equinoccio de primavera al de otoño (en verano en el hemisferio norte, mayor tiempo) y del equinoccio de otoño al de primavera (en invierno en el hemisferio norte, menor tiempo). Esta observación (conocida como anomalía zodiacal del Sol) iba en contra del supuesto que había sobre las distancias inalterables entre los cuerpos celestes y la Tierra, y la uniformidad de los movimientos celestes. Y en consecuencia, suponía un problema para el ideal geométrico de un universo esférico, con movimientos circulares y con la Tierra como su centro. Y el modelo griego no explicaba la relación que hay entre la cantidad de esferas por cada astro, como tampoco la totalidad de esferas, poniendo en duda la idea de un cosmos regido por los principios de armonía, simetría y en especial de simplicidad. Sin contar que era muy limitado en la capacidad de predecir futuras posiciones de los cuerpos celestes. Esta consideración junto con otros factores que por su extensión no sería posible abordarlos, dieron paso al modelo de Ptolomeo.

4.2. Modelo de Ptolomeo

Claudio Ptolomeo (100 – 170 E.C.) fue uno de los representantes más destacados de la escuela Alejandrina¹⁵. En esta escuela, surgieron aportes importantes para las teorías astronómicas de la época, que perduraron por siglos. La escuela Alejandrina plantea una solución diferente a la descripción del movimiento de los cuerpos celestes, sin alterar sustancialmente el modelo del universo heredado de la escuela griega. Para ello propone el uso de elementos geométricos entre ellos los epiciclos, círculos deferentes y círculos ecuantos, que aunque busca no distanciarse de los ideales de belleza de Platón, si plantea cuestiones formales que difieren del modelo griego.

¹⁴ El tamaño aparente refiere al diámetro observable del sol medido en grados sexagesimales..

¹⁵ Ésta escuela se desarrolló durante los periodos helenísticos (323 a.E.C. –siglo II a.E.C.) y grecorromano (siglo II a. E.C – siglo V E.C.), teniendo como centro de su actividad intelectual, la ciudad egipcia de Alejandría

4.2.1. Problema abordado por el modelo ptolemaico

Los astrónomos alejandrinos encontraron que los complejos movimientos de los cuerpos celestes de los cuales el modelo de esferas concéntricas propuestos por la escuela griega no explicaba en su totalidad, podían ser descritos usando la figura del círculo, pero en una disposición diferente a la que planteaba el modelo griego. Específicamente, usaban un círculo excéntrico, es decir, una trayectoria circular de un cuerpo celeste, cuyo centro de la trayectoria circular esta desplazada respecto al centro de la Tierra. (Soler, 2008; Rioja y Ordoñez, 1999). En el caso del Sol, el centro del círculo que éste describe, está desfasado respecto al centro ocupado por la Tierra. En esta disposición, el Sol al moverse entre los puntos equinocciales, estará más cerca o más lejos de la Tierra, ayudando a explicar el cambio del tamaño aparente que presenta. Lo mismo sucederá con la velocidad del Sol durante su trayectoria. Para un observador en la Tierra, el Sol parecerá moverse más lento durante el solsticio de invierno y moverse más rápido en el solsticio de verano Pero esto no altera la velocidad que le toma desplazarse el Sol por su trayectoria circular, que en todo momento se considera constante. Esta disposición geométrica es semejante para el caso de los movimientos de la luna, con la diferencia que introduce un círculo deferente para esta última (véase fig. 17).

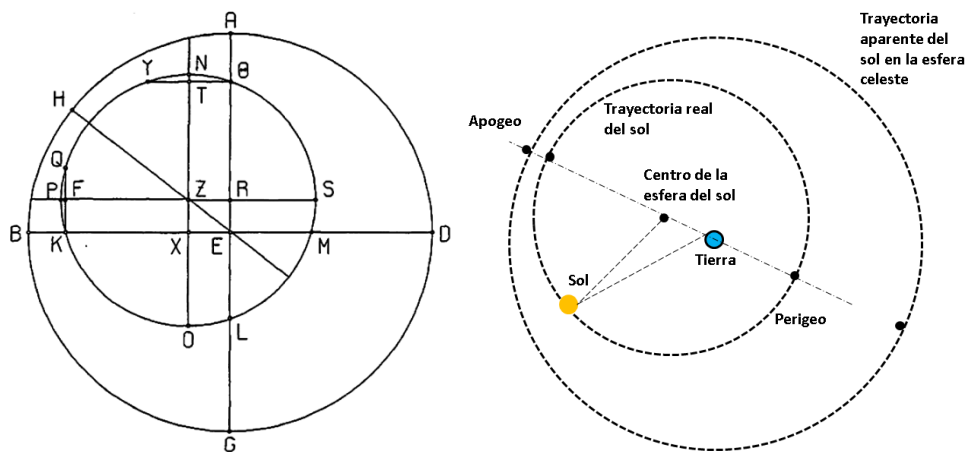


Fig. 17: Izq.: Sistema excéntrico para la trayectoria del Sol. Círculo A-B-C-D: recorrido aparente del Sol en el cielo. E: posición de la Tierra. Z: centro de la excéntrica del Sol. Círculo O-P-N-S: trayectoria excéntrica del Sol. Der diagrama simplificado. Fuente: Ptolomeo, 1984 (izq.) p. 154; Elaboración propia (der).

En el caso de los planetas, los astrónomos alejandrinos propusieron diferentes combinaciones de círculos excéntricos, para dar cuenta del movimiento retrogrado de los planetas, cuya solución en el modelo griego era innecesariamente compleja y no

completa. Es de tener en cuenta que los planetas inferiores (Mercurio y Venus) describen movimientos retrógrados, cuando están en conjunción con el Sol¹⁶. Y los planetas superiores (Marte, Júpiter y Saturno) describen el movimiento retrogrado estando en oposición al Sol¹⁷. La solución propuesta para los planetas inferiores fue proponer que el círculo que describe su trayectoria (epiciclo), tiene su centro en el Sol. Y a su vez, siguen al Sol en su trayectoria (deferente) alrededor de la Tierra (véase fig. 18 izq.). Y la solución planteada para los planetas superiores, fue colocar el centro de la trayectoria circular de estas (epiciclo), sobre una segunda trayectoria circular de mayor tamaño (deferente). Esta última a su vez tiene como centro la Tierra o algún punto cercano a esta última (véase fig. 18 centro) (Rioja y Ordoñez, 1999; Kuhn, 1985).

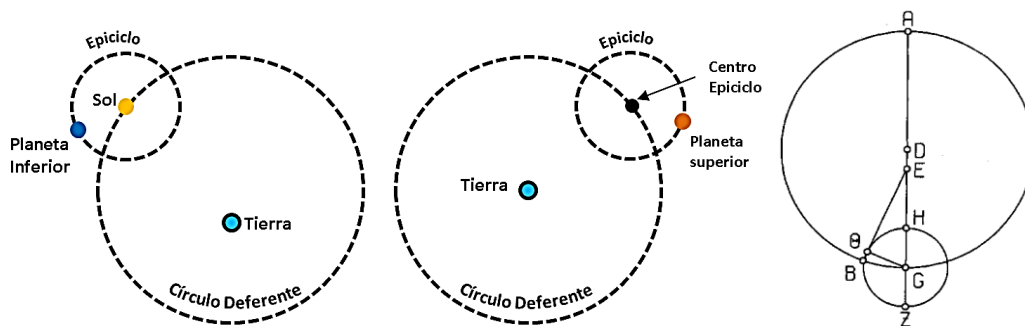


Fig. 18: Sistema de epiciclo y deferente para un planeta inferior (izq.) y de un planeta mayor (centro). Der. Sistema de excéntricas de Ptolomeo para la luna: A apogeo de la excéntrica, D posición de la Tierra, E centro de la excéntrica; G centro del círculo deferente y perigeo; Θ Posición de la luna, las demás letras corresponden a diferentes puntos del círculo deferente. Fuente: elaboración propia (izq. y centro); Ptolomeo, 1984, p. 226 (der.).

El modelo Ptolemaico explicó de forma más aproximada las diferentes anomalías encontradas en las observaciones que dejaba por fuera el modelo griego. Permitió dar cuenta de las variaciones que experimentaba el Sol en su tamaño y velocidad, como de los movimientos retrógrados. E incluso era tal la flexibilidad que ofrecía, que permitía otras configuraciones de trayectorias circulares, mediante las cuales se respondían y afinaban los cálculos sobre a las anomalías encontradas en las observaciones. Siendo así, parece ser que la pregunta frente a la cual se dio forma al modelo Ptolemaico, era ¿Cuál

¹⁶La conjunción se refiere a cuando los planetas en mención están en la misma constelación zodiacal que el sol. Para otros casos se refiere a que dos o más cuerpos celestes están en una misma zona del cielo dentro del espacio establecido para una constelación.

¹⁷La oposición se refiere a la ubicación opuesta que presenta un cuerpo respecto al sol, encontrándose el observador entre el cuerpo celeste y el sol.

es el sistema de círculos excéntricos más preciso que permite describir el movimiento de los cuerpos celestes? (Kuhn, 1985. p. 73).

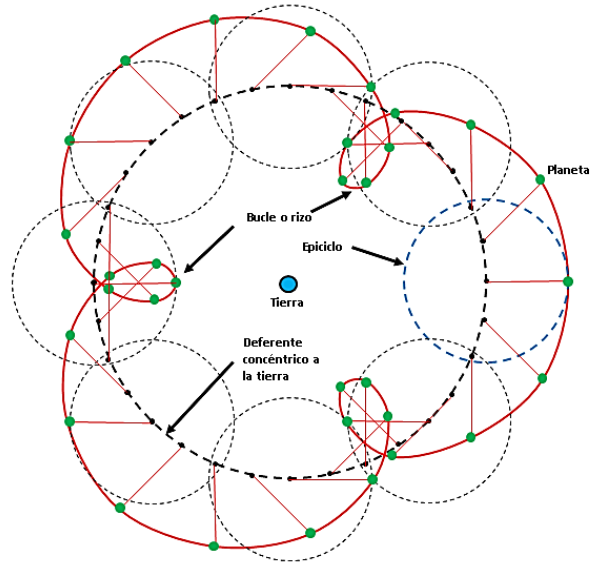


Fig. 19: Movimiento aparente de retrogradación. Las sucesivas posiciones del planeta sobre el epiciclo (solo se representan ocho) combinado con el desplazamiento del epiciclo sobre el círculo deferente, configuran la trayectoria (en rojo) con los bucles que explican la retrogradación. Fuente: elaboración propia.

4.2.2. Marco teórico del modelo de Ptolomeo

La escuela alejandrina ofreció diferentes aportes que le permitieron a Ptolomeo consolidar en un modelo, la descripción de la posición y movimiento de los astros observables. El primer aporte del que se tiene certeza al modelo ptolemaico, fue realizado por Apolonio de Perga (240-190 a. E.C.) A él, Ptolomeo le atribuyó el uso de excéntricas móviles y el sistema de epiciclos y deferentes para los planetas. Después, Hiparco de Nicea (190-120 a. E.C.) aportó la idea de una órbita excéntrica para el Sol, para explicar las anomalías referidas a este cuerpo, como la aplicación de las excéntricas y deferentes al movimiento de la luna. Parece ser que Hiparco privilegió los datos obtenidos de las observaciones astronómicas, con el fin de refinar el modelo iniciado por Apolonio. Como señala Rioja y Ordoñez (1999) este proceder mostraría el interés de Hiparco, en encontrar una descripción del universo con base en la visión Platónica. Hiparco propuso unos elementos geométricos que aunque parecen cuestionar la simetría del universo, no

cuestionan ni la esfericidad ni su orden general. Esto se hace evidente en otro de sus principales aportes, el cual fue la invención del astrolabio, un instrumento que refleja la concepción de un universo esférico. Este instrumento fue importante en las observaciones astronómicas y navegación de los siglos siguientes, y que hacen evidente el poder de cálculo y predicción matemático de las posiciones y movimiento del Sol alcanzado por Hiparco (Rioja y Ordoñez, 1999; Álvarez *et al*, 1993).

Ptolomeo recoge los anteriores aportes, y da cuenta del orden del universo aceptado en ese entonces, expresado en unos principios que él expone en el Libro I del su obra *Almagesto*. Las ideas principales eran que el cielo es esférico y se mueve respecto a un centro y en el centro del universo se encuentra la Tierra inmóvil y esférica. Los argumentos desde los cuales defiende esos principios, siguen la lógica de la física aristotélica ya mencionada anteriormente. Pero respecto al movimiento de los astros Ptolomeo se aparta del postulado aristotélico del primer motor, que es un movimiento cósmico causante del movimiento de las diferentes esferas celestes. Él propone que es cada conjunto de esferas para un planeta, la que es autónoma respecto al movimiento de otras esferas. Y la causa del movimiento de un conjunto de esferas para cada planeta, es el mismo planeta. Ahora bien, Ptolomeo aunque agrega los círculos ecuanes¹⁸ al sistema de epiciclos y deferentes ya existente, sigue considerando que el cielo está organizado en esferas. Rioja y Ordoñez (1999) afirman que el sistema de epiciclos y deferentes ofrecen un sistema que se limitaba a describir geoméricamente los movimientos, sin cuestionar o interrogarse por las implicaciones de dichas geometrías en la causa de ese movimiento.

Respecto a lo anterior, parece ser que Ptolomeo como sus predecesores no tenían como objetivo cuestionar la física aristotélica, de hecho se restringieron a una descripción de los movimientos los astros a partir del círculo como forma ideal. No hay evidencia de que los astrónomos de la escuela alejandrina tuvieran la intención de hacer compatibles en sentido estricto los elementos geoméricos propuestos con la cosmovisión aristotélica, ya que de lo contrario los llevaría a cuestionar el modelo del universo conformado por esferas concéntricas. Solo parece que esa preocupación la tiene Ptolomeo. En su obra *Hipótesis de los Planetas* se plantea la posibilidad de combinar las esferas heredadas del

¹⁸ Un ecuante es un punto que esta desplazado del centro del deferente que por defecto es la tierra. Aunque no actúa como centro del deferente, cualquier cuerpo que se mueva en un círculo deferente, mantiene la misma velocidad angular respecto al punto ecuante y no respecto al centro del deferente o de la tierra. Con este mecanismo Ptolomeo justifica el aparente cambio de velocidad angular que aparentan los cuerpos celestes en su movimiento celeste.

modelo griego, con los epiciclos y excéntricas, alojando estas de alguna forma dentro de las mismas esferas (Rioja y Ordoñez, 1999).

En resumen, el marco teórico bajo el cual la escuela Alejandrina construyó un modelo que perduró por trece siglos, sigue las mismas concepciones del universo bajo las cuales se construyó el modelo griego: un universo esférico, cuyo centro es la Tierra inmóvil y que entre esta y la esfera celeste, se encuentran emplazados los planetas, el Sol y la Luna en diferentes esferas. Ptolomeo solo agrega la idea de que cada planeta en sí mismo, es la causa motriz del movimiento de las esferas de cada planeta. Y por tanto estos no dependen de una acción impulsora de la esfera celeste como lo contempló Aristóteles. En ese sentido, el papel de la astronomía ptolemaica era determinar cómo se mueven los cuerpos celestes y sus futuras posiciones, a partir de la observación de sus posiciones durante ciertos intervalos de tiempo.

4.2.3. Instrumentos astronómicos del modelo ptolemaico

La observación astronómica de los cuerpos celestes adquirió una mayor rigurosidad dentro de la escuela alejandrina (Rioja y Ordoñez, 1999). Evidencia de ello son los instrumentos creados por los astrónomos alejandrinos que buscan mejorar la observación del firmamento. Dentro de los instrumentos usados, se describirán el zócalo de Ptolomeo, la regla paraláctica, la esfera armilar y el astrolabio.

El zócalo de Ptolomeo como su nombre señala, es atribuido al ya mencionado astrónomo alejandrino (Ten y Monros, 1984). Este instrumento al igual que el gnomon, permite medir la altura del Sol respecto del horizonte. Pero a diferencia del gnomon, permite obtener una lectura directa, gracias a la disposición de sus elementos. Éste consiste en un bloque sólido C dispuesto de forma vertical. En una de sus caras verticales, se encuentra grabado un cuadrante o escala A para medir ángulos (semejante al cuadrante mencionado antes). En el vértice de este cuadrante se encuentra incrustada una vara B dispuesta horizontalmente. Todo el conjunto se orienta de forma que el vértice superior de la cara en la que se encuentra grabado el cuadrante, apunta en la dirección en la que se encuentra el Sol, y una vez logrado esto, la vara proyecta su sombra sobre el cuadrante, permitiendo determinar la altura del Sol a en forma directa (véase fig. 20).

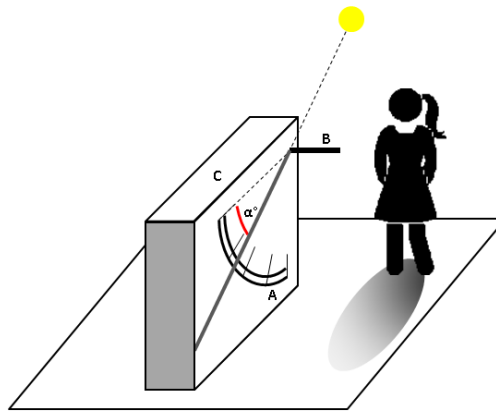


Fig. 20: Zócalo de Ptolomeo. Fuente: elaboración propia.

Otro de los instrumentos desarrollados en la escuela alejandrina atribuidos a Ptolomeo es la regla paraláctica o “triquetrum” (Rioja y Ordoñez, 1999). Esta consta de tres reglas, de la cual una regla ($a-c$, fig. 21) es fija y tiene posición vertical, la segunda regla ($a-d$) se articula con la primera en su extremo superior (a). Esta regla $a-d$ tiene unas mirillas que se utilizan para apuntar al astro observado. Y la tercera regla ($b-d$) la cual esta graduada, se articula en un extremo b con la regla vertical $a-c$, y se desliza respecto a la regla ($a-d$) que tiene las mirillas. Este instrumento permite al igual que el cuadrante medir la altura de un astro, pero dicha altura no se obtiene de forma directa en grados sexagesimales, sino que es necesaria calcularla a partir de una tabla de cuerdas (cuerda geométrica). Es decir, en la regla graduada se leen el valor de las cuerdas, y con el uso de tablas o de cálculos de trigonometría, se estima el ángulo sexagesimal. Para ello es importante que las otras reglas, desde sus articulaciones formen un triángulo isósceles, es decir los lados no graduados tienen la misma longitud¹⁹.

¹⁹ Otros diseños de Triquetum, podían modificar la ubicación de la regla graduada, pero el resultado era el mismo, se requería una disposición de triángulo isósceles, cuyo lado más corto estaba graduado para obtener la distancia de una cuerda geométrica de dicho triángulo.

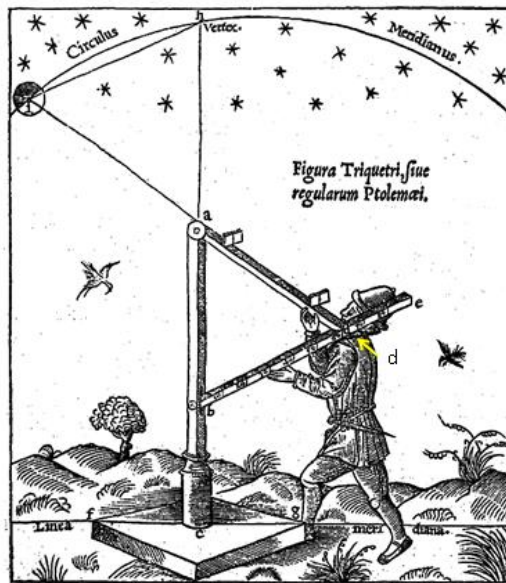


Fig. 21: Triquetum o regla paraláctica. Grabado antiguo (s.f.) Fuente: Orontii Finaei, 2010.

Otro instrumento que adquirió relevancia fue la esfera armilar. Su invención se atribuye a Eratóstenes de Cirene (276-195 a.E.C.). Este instrumento permitió realizar observaciones y calcular distancias angulares, entre ellas la posición del Sol en su trayectoria eclíptica respecto al ecuador para un momento específico del año (Ganguí, 2013). En sí, este instrumento representa el modelo cosmológico concebido por la escuela alejandrina. La esfera armilar está conformada por un conjunto de aros dispuestos en una configuración que evoca la estructura de una esfera, en torno a una esfera más pequeña que representa la Tierra. Cada uno de los aros representa elementos astronómicos representativos de la esfera celeste: círculos tropicales, círculos polares, el ecuador y la eclíptica (véase fig. 22). Parece ser que algunas variantes posteriores de este instrumento, permitían medir en forma directa la altura de un astro.

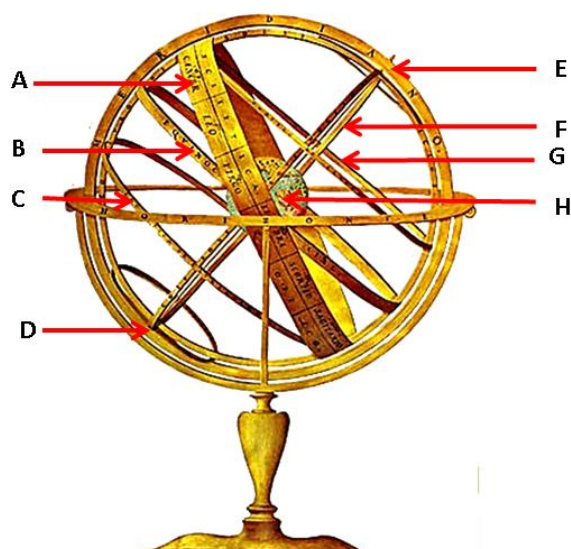


Fig. 22: Esfera Armilar. A: círculo que marca la eclíptica y las constelaciones zodiacales; B: ecuador celeste; C: círculo de máxima latitud sur en la que el Sol está al sur del ecuador durante el solsticio de invierno (actualmente trópico de capricornio); D: polo sur celeste; E: polo norte celeste; F: meridiano celeste; G: círculo de máxima latitud norte en la que el Sol está al norte del ecuador durante el solsticio de verano (actualmente trópico de cáncer); H representación del globo terrestre. Fuente: Lavanha-Luis T., J. (2020).

Es interesante de este instrumento, la representación que hace de un sistema de referencias más amplio respecto al sistema de referencias local mencionado en el anterior modelo. Esta consideración es interesante en tanto deja ver la necesidad de usar un sistema de referencias que permita unificar las observaciones realizadas desde diferentes puntos de observación. Si bien es posible que el modelo griego ya contemplara un sistema similar, es en el modelo de Ptolomeo donde se hace evidente y cobra relevancia el uso de referencias respecto a la esfera celeste, en tanto ofrece por lo menos en el caso del Sol, una visualización de su movimiento desde un punto externo a la esfera terrestre. Y a partir del movimiento del Sol y sus posiciones, se definen puntos de referencia como la eclíptica, los círculos tropicales y los meridianos²⁰. Si bien no hay indicios que permitan inferir que esta proyección desde un punto de vista extraterrestre, tuviera implicaciones del orden filosófico o físico, si ofrecía una ventaja en términos de permitir apreciar desde una configuración espacial aventajada, que permitía explorar las posiciones de los cuerpos en el cielo y entender la mecánica de sus movimientos.

²⁰ Estos fueron considerados en el apartado “Problema abordado por el modelo griego”.

El astrolabio fue otro instrumento astronómico de precisión. Su invención se atribuye a Ptolomeo (Hernández, 2018; Neugebauer, 1949) o a Hiparco (González y Medina, 2009) En éste, la esfera celeste es representada en forma bidimensional, mediante una proyección geométrica de la esfera celeste. La función principal del astrolabio es reproducir el movimiento y posición de las estrellas más visibles junto con el Sol. De esta función, se derivan otros usos del astrolabio, entre ellas calcular la hora por medio de la posición de las estrellas o el Sol, determinar la visibilidad de algunas estrellas, determinar la hora de salida y puesta del Sol, y medir la altura de los astros. Y regularmente, este instrumento era usado para medir la altura de un astro o del Sol, de forma semejante a como se realiza con el cuadrante ya mencionado anteriormente. Ello es posible gracias a una regla que posee dos mirillas, a través de las cuales se ubica el astro a ser observado. Dicha regla gira sobre una escala graduada, en la que se hace la lectura de la magnitud angular (véase fig. 23).



Fig. 23: Astrolabio plano. Izq.: Astrolabio. Der.: forma de uso para obtener altitud angular del astro observado. Fuente: Culturacientifica.com. 2015 (izq.); Pearson Scott Foresman, 2015 (der).

En términos generales, los instrumentos de la escuela Alejandrina permiten al igual que los instrumentos mencionados en el modelo griego, determinar la altura de un astro, tomando como referencia el horizonte local del observador. En el caso del Sol y las estrellas, dicho registro realizado en forma regular por varios años, permitió confeccionar otros instrumentos como la esfera armilar y el astrolabio²¹, que representaban las posiciones de las estrellas y el Sol a lo largo del año. Y algunos instrumentos ya presentan un sistema de referencias que permitía considerar la observación realizada por diferentes individuos (astrónomos y navegantes) desde diferentes posiciones en la esfera

²¹ Una descripción detallada de la esfera armilar se encuentra en Gangui, 2013; y de los aspectos geométricos del astrolabio en Hernández (2014, 2017 y 2018) y en Mitchell, 2018.

terrestre. En ese sentido, algunos instrumentos permitían estimar con relativa precisión (se encontraban errores del orden de 1 grado) la posición del observador respecto a la esfera terrestre.

La representación de la esfera celeste en algunos instrumentos, como el astrolabio o la esfera armilar, obligaba a extraer algunos elementos relevantes para la observación. Por ejemplo, la esfera armilar no contiene todos los meridianos celestes, ni las líneas de latitud, sino que se limita a dentro de los meridianos a aquellos que representan los equinoccios y los solsticios. De las latitudes, solo representa el ecuador y las líneas tropicales. Y respecto a las constelaciones, solo representa aquellas que son atravesadas de forma aparente por la eclíptica del Sol (constelaciones zodiacales). En el caso del astrolabio, aumenta el nivel de detalle de la cantidad de las líneas celestes, lo cual es posible ya que solo se representa el horizonte local del observador. Pero también restringe las representaciones limitándose a aquellas estrellas que son más visibles (no superan en número de cuarenta o treinta las estrellas representadas en un astrolabio), y a la eclíptica que representa las posiciones del Sol a lo largo del año, junto a líneas que describen el ecuador y los trópicos²². En resumen, las representaciones tanto de la esfera armilar como del astrolabio, combinan objetos observados en el firmamento (estrellas, trayectoria del Sol) con elementos abstractos de orden geométrico (meridianos, latitudes, puntos de referencia cruzados por el Sol).

4.2.4. Limitaciones del modelo Ptolemaico

La escuela alejandrina no cuestiona el contenido físico y cosmológico del marco teórico prevalente de su época. Más bien, parece que los astrónomos alejandrinos estaban interesados en aumentar la precisión y exactitud de las descripciones geométricas para describir los movimientos de los cuerpos celestes. Pero en esa construcción de orden geométrico, no ofrece una imagen unitaria del universo, y más bien, se distancia de ella al plantear un sistema geométrico cuyo centro no es exactamente la Tierra, pero que no cuestiona el problema que se plantea al continuar sosteniendo un sistema de esferas. Claro está, esto no parece ser un problema para la escuela Alejandrina, pero si lo es para posteriores astrónomos, entre ellos Copérnico.

²² Véase anexo 3: Astrolabio

En primera instancia, el centro del universo es desplazado de la Tierra. Y con ello el centro carece de una entidad material, al encontrarse en el vacío. En la física aristotélica no existe el vacío, por lo que la ausencia de un ente material para un centro de las esferas supone un problema dentro de esa física. Esto a su vez tiene otra implicación y es la ausencia de un centro material que gobierne el movimiento de un cuerpo, como lo planteó la física de Aristóteles. En ese sentido, dichos movimientos circulares dejan de ser naturales desde la visión aristotélica, la cual concibe la Tierra como centro del universo. La única justificación para el modelo Ptolemaico es de carácter geométrico, y parece limitarse a salvar apariencias (Rioja y Ordoñez, 1999; Kuhn, 1985).

En términos cuantitativos, el modelo presentaba una elevada complejidad que aumentaba en la medida que las observaciones proporcionaban datos más precisos, y se complejizaban el sistema de epiciclos para dar cuentas de esos nuevos datos. Esa complejidad que surgía en un sistema geométrico de excéntricas, no era compatible con el marco teórico aristotélico cuyo orden del universo es totalmente concéntrico. Y no ofrecía un sistema único de epiciclos y deferentes que permitiera explicar y unificar con la mayor simplicidad y precisión posible, los movimientos de los cuerpos celestes (Rioja y Ordoñez, 1999). Y por último, planteó dos posiciones opuestas entre los astrónomos: o describir y predecir el movimiento de los cuerpos celestes desde las configuraciones geométricas formuladas, o buscar una nueva forma de explicar esos movimientos.

4.3. Modelo de Copérnico

El modelo heliocéntrico elaborado por Nicolás Copérnico (1473-1543) fue publicado posterior a su muerte, en su libro *Sobre las revoluciones de los orbes celestes (De revolutionibus orbium coelestium)*. Esta obra dividida en ocho capítulos, proporciona una explicación de las diferentes observaciones celestes explicadas hasta ese entonces por modelos geocéntricos, desde una configuración heliocéntrica propuesta por Copérnico. En este modelo, el Sol se encuentra ubicado en el centro del universo y alrededor se encuentran las esferas que contienen los planetas, los cuales describen movimientos circulares alrededor del Sol, excepto por la Luna que todavía describe un movimiento circular alrededor de la Tierra. Adicionalmente, propone varios movimientos para la

Tierra, que permitan explicar el movimiento aparente de del Sol y de la Luna en el cielo (Bohórquez y Orozco, 2015; Rioja y Ordoñez, 1999; Álvarez *et al*, 1993; Kuhn, 1985).

4.3.1. Problema abordado por el modelo Copérnico

El primer problema abordado por Copérnico es que debido a las dificultades para describir el movimiento del Sol y de la Luna a partir del modelo Ptolemaico y las mejoras añadidas, aún no era posible determinar con exactitud la duración de un año estacional²³. Segundo, que las descripciones de los movimientos del Sol y la luna, junto con los planetas, los criterios matemáticos y geométricos empleados tanto en el modelo griego en la versión de Aristóteles, como del sistema de excéntricas del modelo de Ptolomeo, no estaban unificados ni en sus principios, ni en sus demostraciones. Y tercero, eran sistemas demasiado complejos, que no respetaban ni la uniformidad de los movimientos, ni el principio de circularidad heredado de Pitágoras y Platón. Copérnico en *Pequeños comentarios (Commentariolus)*²⁴ dice lo siguiente:

“me preguntaba a menudo si sería posible hallar un sistema de círculos más racional, mediante el cual se pudiese dar cuenta de toda irregularidad aparente sin tener para ello que postular movimiento alguno distinto del uniforme alrededor de los centros correspondientes, tal y como el principio del movimiento perfecto exige”. (Copérnico, 1983; como se citó en Rioja y Ordoñez, 1999, p112).

Para Copérnico el modelo Ptolemaico carece de una adecuada solución que permita describir el movimiento de los astros (Rioja y Ordoñez, 1999). El argumento que el sostiene, es que si bien los cuerpos celestes tienen un movimiento regular, un observador en la Tierra ve que los movimientos son irregulares. Esto es debido a una diferencia entre los centros de las trayectorias circulares (como lo propone el modelo Ptolemaico) o que la Tierra no se encuentra en el centro de esas trayectorias circulares. En esta última situación, sucedería que cuando el planeta esté más cercano a la Tierra, la distancia de su trayectoria parecería mayor que cuando está lejos.

La solución que propone Copérnico es como sigue. Si bien no cuestiona un universo conformado por esferas, configura un nuevo orden de los cuerpos celestes,

²³ Es el tiempo que tarda el sol en cruzar por el mismo punto de intersección entre la eclíptica y el ecuador, es decir el tiempo que hay entre dos equinoccios de primavera.

²⁴ Fue un manuscrito corto, anterior a *Sobre las revoluciones*, que circuló entre las personas conocidas a Copérnico (Rioja y Ordoñez, 1999)

colocando el Sol en el centro, en vez de la Tierra. Y alrededor de este siguen las esferas de cada uno de los siguientes planetas: Mercurio (88 días) Venus (225 días), Tierra (1 año), Marte (~2 años), Júpiter (~12 años) y Saturno (~29 años). En el caso de la luna, esta presenta un tiempo de 29 días (mes sinódico), lo que se interpreta que está más cerca de la Tierra que del Sol, y por tanto esta describe un círculo con centro en la Tierra. Es necesario reseñar, que al igual que en el modelo griego, se creía en la presencia de una esfera para cada planeta la tenía un espesor, que en el caso de la esfera que mueve la Tierra, permitiría alojar la esfera de la Luna dentro de ese espesor. En este sistema, los movimientos que describen los cuerpos celestes en el cielo, vistos desde un observador en la Tierra, constituyen una especie de ilusión para el observador (o lo que actualmente se denomina movimiento aparente)(véase fig. 24).

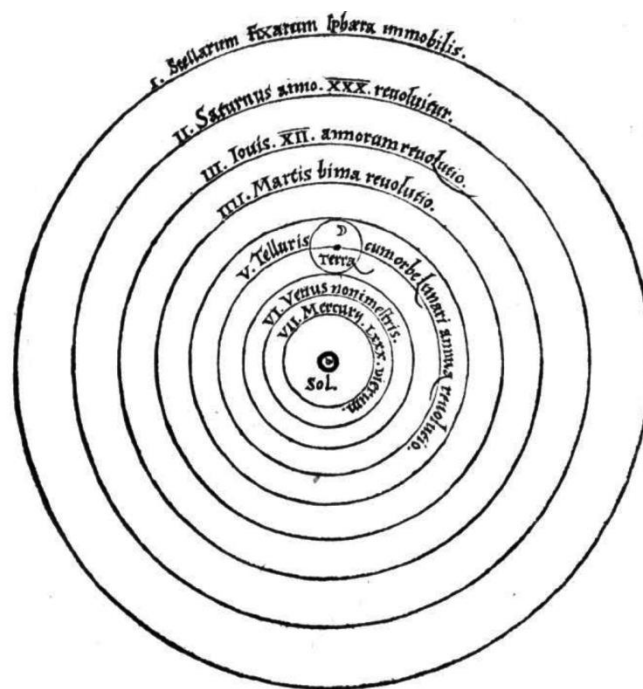


Fig. 24: Modelo Copernicano. Fuente: Copérnico, 1543. p. 36.

Con este modelo, Copérnico se propone dar cuenta de los movimientos diarios de las estrellas, del Sol, de la Luna y de los planetas hacia el oeste, del movimiento anual del Sol hacia el este a lo largo de la eclíptica, y de los movimientos de retrogradación de los planetas. Para ello Copérnico define tres movimientos diferentes para la Tierra. El primero es un movimiento diario de rotación en sentido oeste-este, que realiza la Tierra sobre su eje. Con este movimiento ya no es necesario considerar que una esfera celeste se mueve en sentido este-oeste, e implica que el observador no es estático, sino que está en

movimiento junto con la Tierra. Y este movimiento, ayuda a explicar los movimientos aparentes de los astros durante un periodo de un día o diurnos.

El segundo movimiento de la Tierra es el de traslación anual respecto al centro ocupado por el Sol, en sentido oeste-este (con el fondo estelar de referencia) (véase fig. 25). Esta explicación da cuenta del cambio de posición del Sol sobre el fondo estelar, es decir su trayectoria (eclíptica) durante el año, a través de las doce constelaciones zodiacales (Rioja y Ordoñez, 1999; Kuhn, 1987).

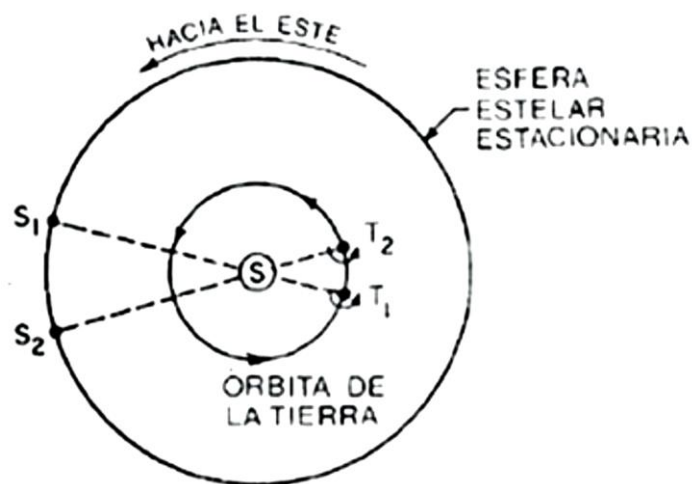


Fig. 25: Traslación de la Tierra respecto al Sol. Cuando la Tierra está en la posición T1, un observador vera al Sol en la posición S1 sobre el fondo celeste. Cuando la Tierra se mueve a la posición T2, el observador vera que el Sol se mueve aparentemente hacia la posición S2, cuando en efecto el Sol se encuentra estático en el centro. Fuente: Kuhn, 1985. p. 161.

Para dar cuenta del cambio del ángulo de proyección de los rayos del Sol durante el año, visible con el gnomon, Copérnico propone que el eje de la Tierra está inclinado $23,5^\circ$ respecto al plano de traslación de la Tierra alrededor del Sol. De esta forma, se justifica el cambio estacional (cambio en la posición del Sol en el cielo respecto al ecuador celeste). Durante un periodo aproximado de seis meses, el polo norte del eje de la Tierra estará inclinado hacia el Sol, haciendo que el observador (ubicado en el ecuador) observe el Sol posicionado en el norte del ecuador celeste. Después, la trayectoria del Sol atravesara la línea ecuatorial (en el equinoccio de otoño) para moverse aparentemente hacia el sur del ecuador celeste. En esta posición aparente, el polo sur del eje de la Tierra está inclinado hacia el Sol. Y después, la posición del Sol volverá a cruzar el ecuador celeste (el equinoccio de primavera) para de nuevo ocupar su posición aparente al norte del ecuador celeste.

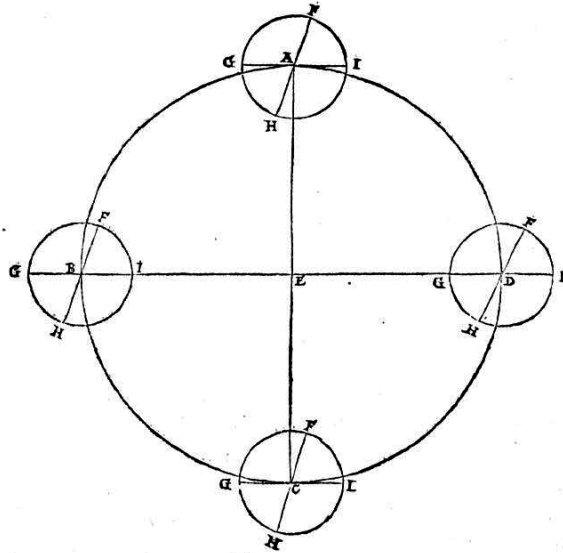


Fig. 26: Cambio estacional causado por la combinación del movimiento de traslación e inclinación del eje de la Tierra. El Sol se encuentra en la posición E, en tanto la Tierra ocupa diferentes posiciones durante el año en A, B, C y D.

Fuente: Copérnico, 1543.p. 39.

El tercer movimiento que plantea Copérnico resuelve un problema que surge cuando se considera que la Tierra está fija en una esfera. En esa condición, siempre expondrá la misma cara hacia el Sol, lo cual no sucede y de hecho, se rechaza cuando se le atribuye el movimiento de rotación. Y segundo, el eje de la Tierra se mantendría inclinado hacia el Sol durante toda la trayectoria de traslación, al estar de alguna forma fijo a la esfera que lo sostiene. Para compensar esto, Copérnico propone un movimiento de precesión del eje terrestre (similar al balanceo que realiza un trompo), en sentido contrario al de traslación, logrando con ello mantener el eje terrestre relativamente constante respecto al plano de traslación (véase fig. 27). Y por otra parte, resolvería un problema no resuelto antes (o las soluciones eran muy complejas) que es el movimiento de precesión de los equinoccios, el cual consiste en que el punto en el que se cruzan la eclíptica (trayectoria del Sol) con el ecuador celeste, llamado punto vernal, se desplaza muy lentamente respecto al fondo estelar²⁵.

²⁵ Este punto también se llama punto de Aries, refiriéndose a que el punto de cruce entre la eclíptica con el ecuador celeste, en el momento que el sol pasa del hemisferio sur al hemisferio norte, se encontraba en la constelación de Aries. Este punto fue calculado hace aproximadamente 2000 años. En la actualidad este punto se encuentra en la constelación de Piscis y recibe el nombre de esa constelación.

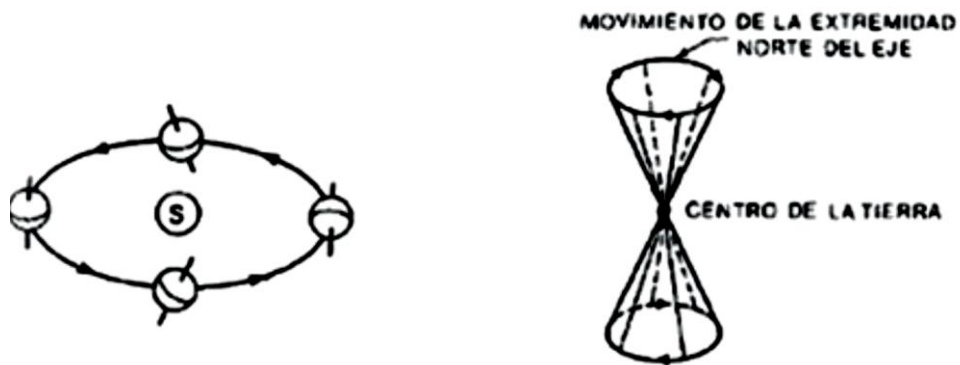


Fig. 27: Movimiento de precesión. Izq.: posición constante del eje terrestre respecto del Sol si estuviera fijo a una esfera. Der: Movimiento de precesión del eje de la Tierra agregado por Copérnico. Fuente: Kuhn, 1985. p. 165.

Respecto a la retrogradación de los planetas, el modelo de Copérnico parte de que la Tierra en su movimiento de rotación alrededor del Sol, al igual que los demás planetas, en ocasiones adelantará a un planeta y en otras será adelantada. Esto tiene como efecto una ilusión para un observador en la Tierra, quien verá que algunos planetas avancen y retrocedan respecto al fondo celeste. Esta ilusión es producto del movimiento combinado de los planetas y de la Tierra y de la combinación de las diferentes posiciones de la Tierra respecto a los puntos que ocupa simultáneamente un planeta. En la fig. 28, la Tierra ocupa sucesivamente las posiciones 1-9 en su órbita, al igual que el planeta ocupa sus posiciones 1-9, en el mismo instante de tiempo respecto a cada punto que ocupa la Tierra.

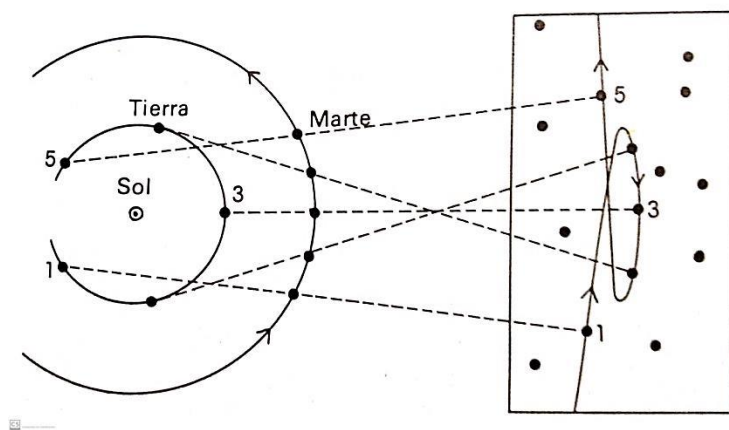


Fig. 28: Explicación geométrica del movimiento retrogrado de un planeta superior en el modelo heliocéntrico de Copérnico. Fuente: Sagan, 1987 p. 56.

Desde la Tierra, se verá que el planeta ocupa diferentes posiciones en la esfera de las estrellas, posiciones que son proyectadas en virtud de la posición combinada de la Tierra (donde está el observador) y del planeta. Esta proyección dibujará un rizo en el

fondo celeste, como se ve en la fig. 28. El hecho de que se vea un bucle o rizo y no se vea que el planeta avance, retroceda y avance de nuevo sobre una trayectoria recta de forma que se superpongan, es debido a que el plano de traslación de ese planeta está inclinado respecto al plano de traslación de la Tierra, con lo cual se justifica de paso, que el planeta cambie su posición respecto a la eclíptica, incluso para el caso de la luna, que tendrá su plano de traslación inclinado 5° respecto al plano de traslación de la Tierra alrededor del Sol. También resuelve otros problemas. Mercurio y Venus no se distancien significativamente del Sol (Mercurio y Venus presentan una distancia del Sol, máxima de 28° y 46° respectivamente), lo cual se explica gracias a que sus esferas están contenidas por la esfera de la Tierra y por tanto, están más próximas al Sol. Y el cambio de brillo de un planeta a medida que realiza su trayectoria, se debe a que en unos momentos estará más distante de la Tierra y en otros momentos estará más cercana.

Si bien el modelo de Copérnico es simple comparado con el sistema de excéntricas del modelo Ptolemaico, inicialmente no da cuenta del cambio en la velocidad del Sol durante su recorrido aparente en la eclíptica, ni alcanza el nivel de precisión requerido para la predicción de las posiciones de los planetas, que alcanza en cierto grado y con limitaciones el modelo Ptolemaico. Teniendo en cuenta lo anterior, para el caso de la desigual velocidad del Sol, Copérnico desplaza el centro de la esfera terrestre del Sol y plantea un sistema de excéntricas para resolver dicho problema (véase fig. 29). La tierra T realiza la traslación sobre un círculo cuyo centro O_T también gira sobre otro círculo con centro en O. Y este último centro O, gira sobre un círculo con centro en el Sol S.

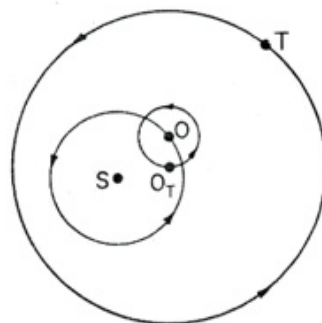


Fig. 29: Sistema de excéntricas para el movimiento terrestre.

Fuente: Kuhn, 1985. p. 170.

Para el caso de otros planetas, se propone el uso de un deferente y un epiciclo. El planeta M, describe su trayectoria sobre un epiciclo (círculo pequeño), que gira sobre un

deferente (circulo grande) cuyo centro O_M se mantiene a una distancia fija respecto al centro de la Tierra O_T (véase fig. 30).

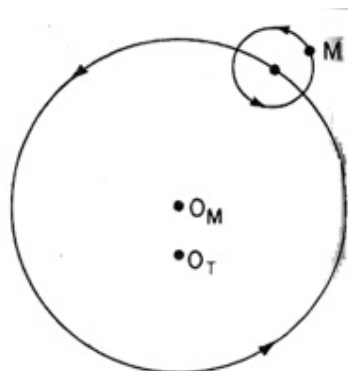


Fig. 30 Sistema Epiciclo y deferente. Fuente: Kuhn, 1985p. 170.

Con este ajuste, Copérnico plantea un modelo que logra igualar el poder predictivo del modelo Ptolemaico, sobre las posiciones de los planetas del Sol y de la luna, y simplifica en forma considerable el sistema de esferas, quitando las ecuantes de Ptolomeo. Y con ello responde una posible pregunta, que se infiere a partir del desarrollo expuesto ¿Cuál es el sistema de círculos racional que permite describir el movimiento de los cuerpos celestes, considerando que el Sol está en el centro del universo? A pesar de que busca un sistema geométrico racional, aun así conserva el sistema de excéntricas propuesto en el anterior modelo ptolemaico.

4.3.2. Marco teórico del modelo de Copérnico

Parece ser que la astronomía que se enseñaba y por tanto practicaba en las universidades europeas en las que se educó Copérnico, no difería mucho de lo que se sabía a la muerte de Ptolomeo. Y respecto a la física, siguió siendo la misma física bajo el cual se continuaba concibiendo un universo de esferas (Rioja y Ordoñez, 1999; Kuhn, 1985).

El contexto histórico que enmarcaba el pensamiento científico en los tiempos de Copérnico, provenía de un largo desarrollo histórico en torno a la ciencia. Los principales hechos históricos previos a la propuesta de Copérnico, contribuyeron a un nuevo ambiente filosófico que enmarcaba el pensamiento científico al final de la Edad Media. Algunos de ellos fue el surgimiento y consolidación del movimiento cristiano, la caída del imperio romano occidental, el surgimiento de los reinos europeos occidentales, el

papel que jugaron las sociedades árabes y posteriormente musulmanas en la conservación y divulgación de las obras griegas y alejandrinas, y la necesidad de ajustar y elaborar nuevos calendarios, junto a otras condiciones históricas ampliamente descritos por Rioja y Ordoñez (1999) y Kuhn (1985). Estos cambios, contribuyeron al surgimiento de nuevas formas de pensar y concebir el universo, las cuales eventualmente entraron en conflicto con las existentes. Ejemplo de ello, fueron las discusiones en torno a las concepciones cosmológicas de Aristóteles y las doctrinas de la iglesia. Esas discusiones llegaron al punto de generar disputas de orden político. Por ejemplo, en 1277 el obispo de Paris condenó la enseñanza de las ideas de Aristóteles en la universidad de la misma ciudad, en tanto desafiaban la omnipotencia divina. Pero de otro lado, personajes como Tomas de Aquino, buscaban adecuar el modelo griego con los postulados cristianos (Rioja y Ordoñez, 1999; Álvarez *et al*, 1993).

En ese orden de ideas, el universo que se concibe gracias a la lenta pero exitosa conciliación entre la física aristotélica y la teología cristiana, es un universo esférico, geocéntrico y único, en el cual las estrellas y planetas están fijas a esferas concéntricas y por tanto se mueven en forma circular. Parece que la única diferencia, es la consideración de que solo existen once esferas, dejando atrás las 55 esferas de Aristóteles. De todas formas e independientemente del tipo de orden que se atribuyera al universo, para los astrónomos persistió el problema de usar el modelo Ptolemaico de círculos excéntricos para dar cuenta de las irregularidades observadas en los movimientos de los astros. E incluso, surgieron discusiones entre quienes defendían una postura centrada en la visión cosmología de las esferas concéntricas (modelo griego) y aquellos que privilegiaban el cálculo y por tanto el carácter geométrico y matemático de las excéntricas (modelo Ptolemaico) (Rioja y Ordoñez, 1999) .

A lo anterior, se suma una nueva forma de discutir y razonar en torno a proposiciones de orden físico que surge después de la condena de 1277, antes mencionada. Este nuevo mecanismo de discusión se hacía bajo una hipótesis, entendida como una afirmación que no se correspondía con la realidad objetiva de la naturaleza ya definida por la iglesia, pero que era posible discutirla siempre que se consideraran un ejercicio mental. Junto a dicha hipótesis, se exponían los argumentos que la defendían, pero no se hacían conclusiones definitivas como resultado final, ya que quedaban en el plano de una especie de ejercitación de la lógica, que no trascendía al mundo físico como era entendido. Este ejercicio tenía sus ventajas. Por una parte, no se hacía evidente la

intención de demostrar la falsedad de una afirmación generalmente aceptada, lo que permitía salvaguardar el prestigio (y en muchos casos la integridad física) de quien la formulaba, y por otra parte se mantenía una actitud crítica frente a los postulados socialmente aceptados. Esta forma de reflexión benefició posteriormente a Copérnico, para la elaboración de su modelo heliocéntrico (Rioja y Ordoñez, 1999).

Junto a lo anterior, desde la antigua Grecia, se mantuvo una línea de autores y de escuelas, que conservaron los ideales Platónicos en torno a un universo ordenado y regido por propiedades de armonía, simetría y simplicidad. El ideal de circularidad era una característica fundamental en los movimientos de los cuerpos celestes, que perduró hasta la época de Copérnico, e incluso continuó mucho tiempo después (Rioja y Ordoñez, 1999; Kuhn, 1985). Con estos ideales como partida, Copérnico planteó nuevas soluciones desde su modelo. Y por ello se vio en la necesidad de cuestionar la física aristotélica que sostenía los modelos anteriores. Copérnico planteó que si bien el centro de gravedad de los cuerpos terrestres se encuentra en la Tierra, este centro no coincide con el centro del universo. La gravedad en Copérnico adquiere otro sentido que difiere de la física aristotélica. Es la “inclinación natural atribuida a todas y cada una de las partes por la divina providencia del Arquitecto del mundo para otorgarles unidad e integridad, agrupándose en forma de esfera”. (Copernico, 1543; Como se citó en Rioja y Ordoñez, 1999, p124). Y esa tendencia también está presente en los demás cuerpos celestes, entre ellos el Sol y la luna, que presentan una forma esférica que se consideraba evidencia de esa inclinación natural.

La siguiente novedad, es considerar que si la Tierra es el centro de los cuerpos terrestres, el Sol será el centro de los cuerpos celestes. Esto implica que el Sol aun siendo centro del universo, no es el centro de gravedad de los cuerpos terrestres. Y de ello se desprende que el universo si bien tiene un centro geométrico, no tiene un único centro de gravedad, de hecho tendría varios, que se ubicarían en los diferentes cuerpos celestes (Rioja y Ordoñez, 1999; Kuhn, 1985).

Copérnico planteó que si la Tierra se mueve, este no será un movimiento violento como se consideraría en la física de Aristóteles. Él consideró que un movimiento de rotación es natural. Si la Tierra tiene forma esférica, su movimiento natural por defecto y en correspondencia con su naturaleza, será un movimiento circular (rotación). Y en consecuencia, la rotación al ser natural no provocaría movimientos violentos ni efectos

catastróficos o diferentes de los que se observa en la naturaleza. Pero esto supone otros cambios radicales en la forma de ver la Tierra, que si bien Copérnico no desarrollo, dejó abierta la cuestión para ser abordada por otros astrónomos. Uno de esos cambios es que si la Tierra es esférica y tiene un movimiento circular, al igual que otros cuerpos llamados planetas, la Tierra por tanto es otro planeta, con movimiento circular. En este contexto la palabra planeta adquiere otro sentido, y refiere a cuerpos esféricos que giran en torno al Sol. (Rioja y Ordoñez, 1999; Kuhn, 1985).

4.3.3. Instrumentos astronómicos del modelo Copernicano

En la astronomía practicada en la época de Copérnico, los instrumentos no difieren significativamente de los usados por la escuela alejandrina. De hecho, entre los instrumentos que todavía continuaban siendo usados en la observación del firmamento se podía encontrar el cuadrante, la esfera armilar, el astrolabio y la regla paraláctica (Rioja y Ordoñez, 1999; Vernet, 1974). Un ejemplo de ello es un grabado de 1537, en el cual se pueden apreciar algunos instrumentos de un astrónomo de la época, entre ellos el astrolabio y el cuadrante (véase fig. 31). Junto a los anteriores, se une la difusión de la brújula, que era muy útil para determinar los puntos cardinales en ausencia del Sol (en las noches) o cuando la formación de nubes, dificultaba determinar la posición de este último. Claro está, algunos instrumentos especialmente el cuadrante y la regla paraláctica, fueron mejorados en términos de aumentar su precisión, permitiendo obtener datos angulares inferiores a un grado. En el caso de las mediciones realizadas por Copérnico, con estos instrumentos alcanzaba una precisión del orden de 10 minutos de grado, margen considerado por él como aceptable para calcular las posiciones de los planetas, dentro de su sistema heliocéntrico (Rioja y Ordoñez, 1999; Vernet, 1974).



Fig. 31 Izk.: Ilustración de portada en un texto de 1537. Der: Detalle de la imagen que representa un cuadrante y un astrolabio plano. Fuente: Fiorentino, 1537. p. 8.

El hecho de que se continuaron usando los mismos instrumentos bajo los mismos sistemas de referencia, permite resaltar de nuevo la utilidad que ofrece el uso de puntos de referencia locales (horizonte, puntos cardinales), en los cuales, el observador ocupa el centro, y la bóveda celeste junto a lo que se observa en ella rodea al observador. Estos elementos de referencia se combinan con el uso de un conjunto de elementos geométricos (latitud, altitud, trópico, meridiano, ecuador, etc.) que ayuda no solo a intercambiar información sobre las posiciones de los astros con diferentes astrónomos ubicados en diferentes localidades del globo terráqueo²⁶, sino que ayudan a organizar esa información en un marco teórico y geométrico que permita interpretarla, que es el sistema de referencias celestes. Este sistema de posiciones nació dentro de una cosmovisión geocéntrica que implicaba en sí, una lógica bajo la cual se usaban los instrumentos (observador inmóvil y ubicado en el centro del cosmos). Y a su vez, con los instrumentos se mide la posición de un astro en dicho sistema de referencia. Pero el uso de los datos y de los instrumentos, no se hacen dentro de la cosmovisión geocéntrica. El dato de la posición ya ubicado en ese sistema de referencia celeste, es interpretado y analizado dentro de la configuración del modelo heliocéntrico tal como lo hizo Copérnico, para explicar el movimiento de la Tierra respecto del Sol así como los movimientos retrógrados de los planetas.

Por otra parte llama la atención respecto a los datos, cierta preocupación por mejorar el nivel de exactitud necesario para determinar la posición de un cuerpo celeste. Por un lado los instrumentos son mejorados para registrar la posición de un cuerpo

²⁶ Ya desde tiempos de Ptolomeo se realizaba el intercambio de datos astronómicos entre astrónomos de diferentes locaciones alrededor del mediterráneo (Rioja y Ordoñez, 1999).

astronómico, cuyo margen de error es del orden de 10 minutos de arco. Pero por otra parte, la estimación matemática de la posición de una locación o ciudad sobre la esfera terrestre, alcanza el orden de tan solo un minuto de arco. En ese sentido la matemática usada en el tiempo de Copérnico ya ofrecía la precisión requerida, pero los instrumentos estaban rezagados respecto a esa precisión²⁷. Estas condiciones y una nueva forma de interpretar los datos, constituyen los factores que harían posible el trabajo y posterior aporte de Johannes Kepler.

4.3.4. Limitaciones del modelo de Copérnico

Si bien, el modelo de Copérnico intenta reducir el sistema geométrico planteado por el modelo Ptolemaico, no logra simplificar la geometría que describe la trayectoria de los planetas (excéntricas y deferentes), ni establecer una coherencia precisa entre el marco teórico que él desarrolla (universo esférico) y el modelo que plantea (círculos excéntricos). Un ejemplo de ello, es que en el modelo de Copérnico está todavía presente la dificultad geométrica que plantea la variación aparente de la velocidad del Sol en su trayectoria (anomalía zodiacal). Esta situación obligó a Copérnico a dar cuenta de ese movimiento mediante una solución matemática que usa círculos excéntricos, similar a las excéntricas del modelo Ptolemaico. Aunque este método geométrico resuelve el problema, en tanto ubica el Sol en una posición desfasada del centro de la trayectoria excéntrica de la Tierra, difiere del ideal de simetría que propone Copérnico en su nueva cosmología, de un universo centrado en el Sol.

Otros problemas que tenía el modelo Copernicano, es que no explicaba satisfactoriamente la desviación de las trayectorias aparentes de los planetas, respecto de la eclíptica, incluyendo la luna. Tampoco las tablas astronómicas hechas a partir del modelo de Copérnico (tablas prusianas) predecían con exactitud las posiciones de los planetas, ya que las posiciones señaladas en ellas, diferían de los datos observados²⁸. Y al igual que el modelo de Ptolomeo, el modelo de Copérnico no unificaba el centro de los

²⁷ Basta con observar las tablas de posiciones de astros en diferentes obras, las cuales ya describen valores del orden de minutos de grado sexagesimal. Algunos ejemplos se encuentran en *Sobre las revoluciones* (Copérnico, 1543) *Cosmografía* (Apiano, 1575) y *Sphera volgare* (Fiorentino, 1537).

²⁸ Un ejemplo de ello sucedió en agosto de 1563, cuando Tycho Brahe observa que Júpiter y Saturno se hallaban muy próximos el uno del otro (evento conocido como conjunción), y al consultar las tablas Prusianas, publicadas en 1551, encuentra un desfase de varios días en la predicción o de un mes en el caso de las tablas Alfonsinas (Viniegra, 2001).

círculos excéntricos, que para la Tierra era un punto desplazado del Sol, pero en otros planetas, el Sol actuaba como centro de la trayectoria de dicho planeta o de su deferente.

Kuhn (1985) resalta que el modelo de Copérnico recae en los mismos problemas y debilidades que cuestiono al inicio de su obra *Sobre las Revoluciones*, con el resultado que planteó un sistema que solo difiere en la ausencia de las ecuantes agregadas por Ptolomeo al sistema de excéntricas. Y en ese sentido no difiere mucho del modelo ptolemaico. Pero para Rioja y Ordoñez (1999) el modelo si logra una simplificación significativa, en tanto éste reduce de 85 círculos excéntricos que planteaba el modelo ptolemaico, a un máximo de 34 círculos para alcanzar el mismo nivel de precisión. Aun así, el aporte de Copérnico fue significativo al plantear varios puntos: una forma alternativa para resolver el problema de la anomalía zodiacal y de los movimientos de los planetas (en términos del cambio de su velocidad en su trayectoria), una nueva forma de ordenar los cuerpos celestes (heliocentrismo), la visión revolucionaria sobre un universo que es estudiado por un observador móvil y no fijo, que está en un punto diferente del centro del universo.

4.4. Modelo de Kepler

Johannes Kepler (1571-1631) junto a otras figuras contemporáneas, contribuyó con nuevas formas novedosas para concebir y precisar el orden cósmico tomando como partida el modelo de Copérnico. También proporciono elementos teóricos de orden matemático, que en un futuro ofrecieron el insumo teórico para una nueva física terrestre y celeste, la cual alcanzaría un punto de inflexión en manos del físico Isaac Newton (1643-1727).

Fue su trabajo como ayudante de Tycho Brahe (1546-1601), que le permitió tener acceso de primera mano a datos en torno al el movimiento de retrogradación de Marte, el cuál siempre presentó dificultades en términos de su descripción matemática. Brahe encargó a Kepler estudiar la trayectoria de este planeta, ya que los datos de este cuerpo se requerían para proyecto de Brahe de elaborar unas nuevas tablas astronómicas que sustituyeran las tablas Prusianas. Si bien Brahe no logra culminar dicho proyecto debido a su infortunada muerte, fue Kepler quien termina dicho proyecto, y más importante aún, fue la interpretación que dio a los datos obtenidos por Brahe durante más de veinte años

en torno a las posiciones planetarias, bajo un nuevo esquema geométrico no considerado antes por sus antecesores²⁹.

Kepler mantiene el orden de los cuerpos celestes propuesto por Copérnico. Pero difiere en la naturaleza formal de las trayectorias de los cuerpos celestes. Después de no pocos esfuerzos y a partir de los datos obtenidos de Brahe, Kepler encuentra que la forma de una elipse es la que permite describir en forma precisa tanto la trayectoria de los planetas, así como las diferentes posiciones observadas por Brahe durante 30 años. El modelo de Kepler plantea que el Sol se encuentra en uno de los focos geométricos de la elipse, y que ésta es la trayectoria realizada por cualquier planeta.

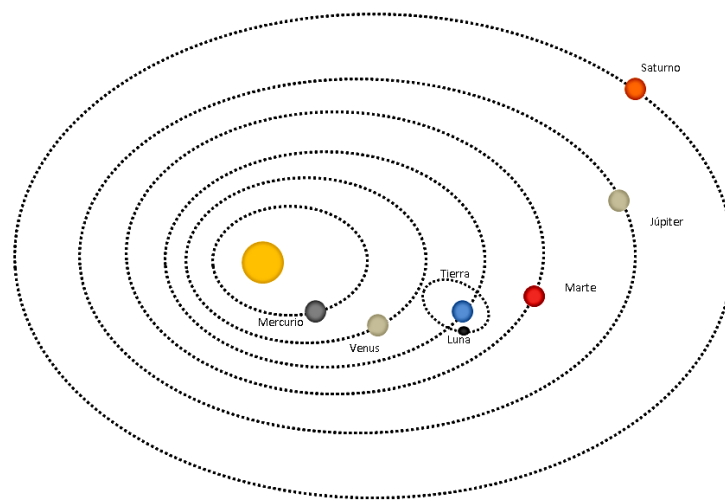


Fig. 32: Representación habitual del sistema solar a partir de la primera ley de Kepler (no se conserva escalas en tamaños y distancias). Fuente: elaboración propia

4.4.1. Problema abordado por el modelo de Kepler

Si bien los modelos anteriores propusieron explicaciones a diferentes problemas, continuaron planteando preguntas y condiciones que no se resolvían. Se encuentra una diferencia sustancial entre el modelo de Ptolomeo como el de Copérnico para calcular las órbitas de los planetas, es decir, no hay un método geométrico unificado, especialmente entre los planetas interiores (Mercurio y Venus) y los planetas exteriores (Marte, Júpiter y Saturno). Y aunque si bien el modelo de Ptolomeo y Copérnico logran anticipar con

²⁹ Aunque si bien Kepler realiza una primera aproximación a partir de un enfoque particularmente influenciado por la visión pitagórica-platónica del cosmos, no será considerado en detalle, siendo suficiente describirlo, ya que en primera instancia interesa el modelo que fue generalizado y aceptado por la comunidad de astrónomos de ese entonces y en momentos posteriores a su planteamiento

cierto nivel de precisión las posiciones de los planetas, esa precisión no se ajusta a los rigurosos datos observacionales compilados por Brahe, con la consecuencia de que es necesario ajustar cada cierto tiempo los cálculos derivados de dichas disposiciones geométricas (Rioja y Ordoñez, 1999; Kuhn, 1985). La solución a los anteriores interrogantes es importante en tanto permiten establecer formalmente la trayectoria que describe tanto la Luna respecto de la Tierra, como la trayectoria de la Tierra respecto del Sol.

Kepler procedió a buscar una solución, planteando inicialmente un modelo cósmico conformado por figuras geométricas regulares. En este modelo, las orbitas circulares de los planetas se inscriben (círculo contenido dentro de una figura geométrica) o circunscriben (círculo que contiene a una figura geométrica) en una figura geométrica regular. Esta disposición no dio resultados que coincidieran con las distancias medias de cada planeta al Sol, por lo que opta por plantear dicha disposición con sólidos tridimensionales. Kepler postuló que hay cinco sólidos geométricos entre las seis esferas³⁰ y por tanto que están inscritos o circunscritos en una esfera que corresponde a la trayectoria de un planeta. El orden de los cuerpos era tal, que el Sol se encontraba en el centro, y se sucedían una esfera de un planeta, la cual estaba inscrita en un sólido regular que a su vez estaba inscrita en la esfera del siguiente planeta.³¹ Con esta disposición, la hipótesis que planteo Kepler, es que los sólidos regulares que se inscribían y circunscribían a las esferas de los planetas, se ajustaba a las distancias medias calculadas entre el Sol y cada planeta (véase fig. 33). En la práctica, esta configuración se ajustaba en las orbitas de los planetas Venus y Marte, en el caso de los demás planetas se aproximaba, pero en el caso de Mercurio y Júpiter los datos estimados se alejaban significativamente de los datos registrados (Bohórquez y Orozco, 2015; Rioja y Ordoñez, 1999; Kuhn, 1985).

³⁰ Parece ser que Kepler no concibe la esfera en el sentido entendido en los modelos anteriores, como una entidad material, sino que los considera una proyección tridimensional geométrica y por tanto no material, de las orbitas de los planetas que supone inicialmente tienen forma circular (Rioja y Ordoñez, 1999).

³¹ El orden era el siguiente desde el cuerpo o figura más interna, hacia el más externo: Sol, esfera de Mercurio, octaedro, esfera de Venus, icosaedro, la esfera de la Tierra, dodecaedro, la esfera de Marte, tetraedro, esfera de Júpiter, un cubo y la esfera de Saturno.

TABULA III. ORBIVM PLANETARIVM DIMENSIONES ET DISTANTIAS PER QVINQUE
REGVLARIA CORPORA GEOMETRICA EXHIBENS.
ILLVSTRISS. PRINCIPI, AC DNO. DNO. FRIDERICO, DVCI WIR-
TEMBERGICO, ET TESSIO, COMITI MONTIS-BELGARVM, ETC. CONSECRATA.

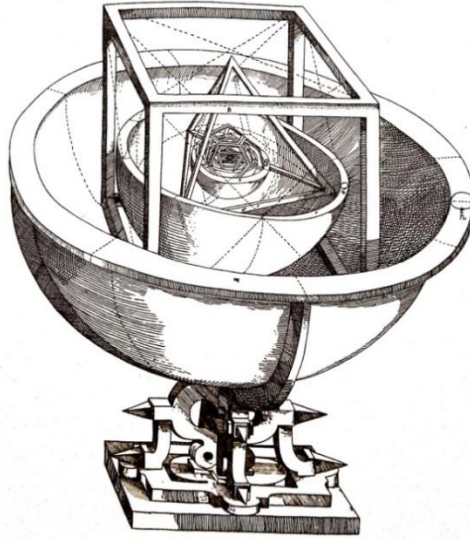


Fig. 33: Modelo de solidos regulares o platónicos tridimensional proyectado por Kepler. Fuente: Sagan, 1987. p. 58.

Los valores de las distancias medias de cada planeta al Sol fueron revisadas, y calculadas de nuevo a partir del sistema Ptolemaico por su maestro Michael Mastlín (1550-1631), para finalmente ser desestimadas por Kepler, junto al modelo entero de solidos regulares que había planteado. Una de las consideraciones que lo lleva a tomar esa decisión, es que las distancias calculadas desde el sistema Ptolemaico tenían como centro no el Sol sino un punto que está retirado del astro. Siendo así, Kepler decide realizar estimaciones de las excéntricas, respecto al Sol como centro de las orbitas celestes, incluyendo la esfera de la Tierra. El proceder de Kepler en términos generales fue como sigue. Primero estudio la órbita de marte, bajo la consideración de que la Tierra se mueve en torno al Sol (véase fig. 34). Para ello, tomó como referencia determinar los momentos en que marte tenía la misma posición relativa respecto al Sol, que es cada 687 días. Es decir el tiempo que le toma a Marte ocupar la misma posición relativa respecto al fondo estelar y a su vez inferir la posición de la Tierra respecto al Sol y Marte (Rioja y Ordoñez, 1999).

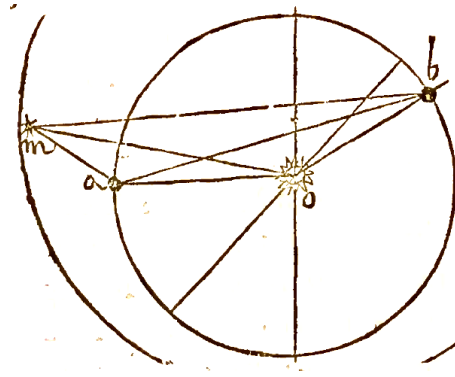


Fig. 34 Posición relativa de la Tierra A y B, respecto a la posición de Marte M y al Sol O. Fuente: Kepler, 1609. p.248.

De esta forma, determinó que el centro de la “esfera” terrestre, no se encuentra en el Sol y que el movimiento de la Tierra no es descrito con precisión por medio de un ecuante (sistema Ptolemaico³²). Kepler concluyó que la Tierra no presenta un movimiento uniforme en su trayectoria respecto al Sol, específicamente en el perihelio (punto más cercano al Sol) y en el afelio (punto más lejano al Sol). Después intentó extrapolar este resultado al planeta Marte, hallando que no se correspondían los datos con los cálculos que él realiza. De nuevo revisó las sucesivas posiciones de la Tierra en su órbita encontrando una relación que será conocida después como la segunda ley de Kepler. En esta se expresa que el tiempo que la Tierra recorre un arco o segmento de círculo de su órbita, es proporcional a la sumatoria de las diferentes líneas que unen la Tierra y el Sol, contenidas dentro de ese segmento de arco recorrido. En términos actuales, dicha sumatoria de líneas corresponde al área que barre un radio o línea que une la Tierra y el Sol. Por tanto, la Tierra en su trayectoria orbital, hace que ese radio imaginario realice un barrido de áreas iguales en tiempos iguales (Bohórquez y Orozco, 2015; Rioja y Ordoñez, 1999; Kuhn, 1985).

Con esta relación Kepler intenta describir el movimiento y las sucesivas posiciones de la trayectoria de Marte, encontrando de nuevo el error de un margen de 8 minutos de arco. Después de revisar la relación hallada por él, decide cuestionar la circularidad de la órbita de Marte. Realizando un nuevo análisis de los datos de las posiciones de Marte, encontró que la trayectoria de este cuerpo se aproximaba significativamente a la forma de una elipse. Y con esta forma, los datos se ajustaban a los cálculos establecidos por el nuevo tratamiento geométrico, que le llevaron a formular la

³² véase nota a pie de página núm. 10

que se conoce actualmente como primera ley de Kepler: la órbita de los planetas tiene forma de elipse y uno de sus focos está ocupado por el Sol (véase fig. 35) (Bohórquez y Orozco, 2015; Rioja y Ordoñez, 1999; Álvarez *et al*, 1993; Kuhn, 1985).

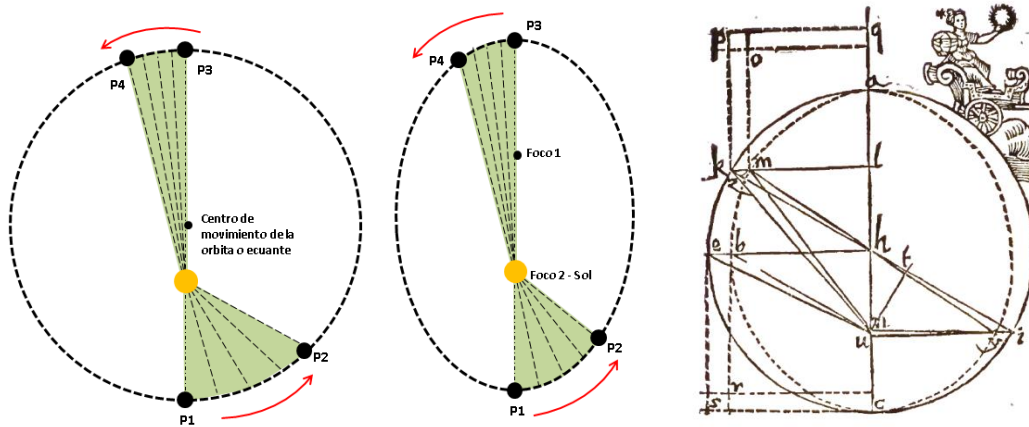


Fig. 35. Izq.: primera interpretación de la segunda ley de Kepler en una órbita circular. El área barrida (zona verde) por el radio entre el Sol y el planeta entre la posición 1 y 2, es igual al área barrida entre la posición 3 y 4. Centro: representación moderna de la segunda ley de Kepler con una órbita elíptica (primera ley). Der: demostración geométrica de la órbita elíptica elaborada por Kepler. Fuente: elaboración propia (izq. y centro); Kepler, 1609. p. 288. (der.).

Respecto a la pregunta que hace Kepler sobre la razón geométrica de las distancias medias al Sol de cada planeta y su relación con los tiempos que permitieron organizar la posición de los planetas en anteriores modelos, Kepler planteó otra relación conocida como la tercera ley de Kepler. Esta expresa que el cubo de la distancia media (o semieje mayor de la elipse) entre un planeta y el Sol, es proporcional al cuadrado de los periodos orbitales de cada planeta. A diferencia de las primeras dos leyes, las cuales permiten explicar el movimiento individual de un planeta en su órbita, la tercera ley permite establecer relaciones entre diferentes planetas y sus orbitas. El cociente entre el cubo de la distancia media S y el cuadrado del periodo orbital P da como resultado un valor constante que es relativamente igual entre dos o más planetas (véase fig. 36) (Bohórquez y Orozco, 2015; Rioja y Ordoñez, 1999; Kuhn, 1985).

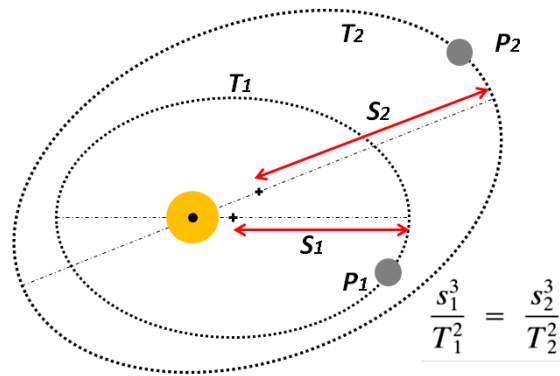


Fig. 36: Aplicación de la tercera ley de Kepler. S corresponde a la distancia media o semieje mayor de la órbita elíptica, T es el periodo orbital y P1, P2 corresponde a los planetas que se relacionan con la ley de Kepler. Fuente: elaboración propia

Un aspecto interesante a mencionar, es que a diferencia de cómo se representa en la literatura las orbitas elípticas de los planetas (véase fig. 32), la excentricidad de dichas orbitas es muy pequeña. Esto implica que si bien la órbita es una elíptica, visualmente presentará el aspecto de un círculo como se observa en la fig. 37. En el caso de la órbita de la Tierra, esta tiene una excentricidad de 0,0167³³ Si se considera que el Sol ocupa la posición A, (fig. 37) que es uno de los focos de la elipse (B es otro foco), la Tierra E al pasar por el punto C, se encontrara en el perihelio (perigeo) y en el punto D en el afelio (apogeo). En dichos puntos, la Tierra estará a una distancia de 147.098 y 152.098 millón de kilómetros del Sol respectivamente. Aun así, esta distancia hace evidente el cambio de tamaño angular del Sol, como se observa en la fig. 38. Situación similar se presenta con la órbita de la luna, con una excentricidad de 0,054, la cual presenta una distancia aproximada de 356000 km en el perigeo y 406000 km en el apogeo.

³³ La excentricidad es el cociente entre la distancia del centro de la elipse a uno de los focos, y el semieje mayor de la elipse. En el caso de un círculo, este valor es cero y de una parábola es 1.

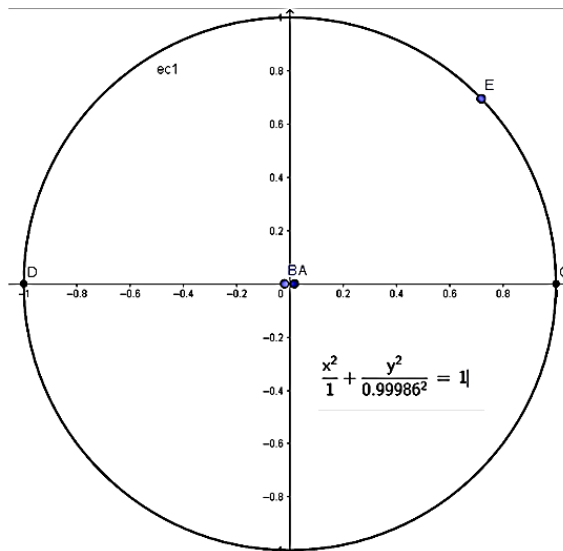


Fig. 37: Forma elíptica de la órbita de la Tierra. Los puntos A y B corresponden a los focos de la elipse, de los cuales uno es ocupado por el Sol. El valor 1 corresponde a la distancia media del Sol a la Tierra tomada como unidad. Fuente: elaboración propia.

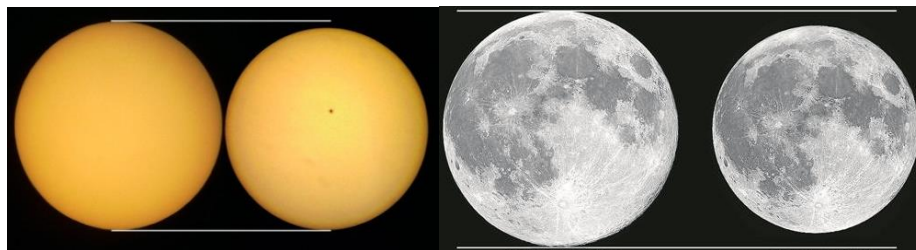


Fig. 38: Cambio de tamaño aparente del Sol (der) y de la Luna (izq.) visto desde la Tierra. Para cada imagen, el mayor tamaño (izq. c/u) se hace visible en el perihelio (para la Luna es perigeo) mientras que el tamaño aparente disminuye (der c/u) en el afelio (Luna-apogeo). Fuente: Simoes, 2013 (Sol); Bravo, 2020 (Luna).

De esta forma, el modelo heliocéntrico de Kepler a través de las tres leyes que planteó, respondió a diferentes preguntas que surgieron en torno al movimiento que presentaban los cuerpos celestes y sus regularidades a saber: el cambio en la velocidad aparente de los cuerpos celestes, entre ellos el Sol y la Luna en su trayecto por la bóveda celeste, el cambio aparente en las posiciones del Sol respecto al ecuador celeste, el cambio en el tamaño aparente del Sol y la Luna y del brillo de los planetas, el desplazamiento que presentan los cuerpos celestes respecto a la eclíptica, entre otras. El modelo de Kepler permitió predecir la posición exacta de dichos cuerpos (Sol, Luna y planetas) dentro de un margen de tolerancia aproximado a 4 minutos de arco (un quinceavo de grado), a partir de un único esquema matemático que era uniforme para

todos los cuerpos celestes conocidos, y que los modelos anteriores no explicaban de forma satisfactoria en tanto no coincidían los datos calculados con los observados.

4.4.2. Marco teórico del modelo de Kepler

Desde la publicación de *Sobre las revoluciones* de Copérnico en 1543, pasarían poco más de 50 años para la publicación de la obra de Kepler *Misterio Cosmográfico* (*Mysterium Cosmographicum*, 1596). Este periodo de cincuenta años posteriores a la obra de Copérnico, marcó el inicio de un periodo muy activo intelectualmente, gracias a la nueva visión copernicana del mundo. Si bien Copérnico planteó su modelo en torno a un universo esférico, dicho modelo dio inicio a las rupturas de la tradición física heredada por Aristóteles, e incluso planteó nuevas ideas en torno a nuevos ordenes cosmológicos, como los que formuló Giordano Bruno (1548 – 1600) que cuestionaban diversos aspectos del cosmos heredado, como la naturaleza de la materia de la que está hecha la Tierra y los cuerpos celestes, el límite del universo e incluso, la existencia de otros mundos. Frente a esa ruptura, las dos posturas más comunes que podía asumir un astrónomo era ser partidario del modelo geocéntrico (modelo de Ptolomeo) o del modelo heliocéntrico (copernicano). La postura geocentrista amparada por la iglesia, sostenía la inmovilidad y posición privilegiada de la Tierra. Y quienes estaban a favor del modelo de Copérnico, abogaban por una Tierra móvil, con el Sol en el centro (o cerca del centro).

Kepler se declara a favor de Copérnico, pero no estuvo conforme con el hecho de que Copérnico usara el sistema geométrico heredado de la escuela alejandrina. Y esto es debido a su postura afín al pensamiento neoplatónico. Kepler consideraba al igual que Copérnico, que el mundo obedecía a una lógica de perfección y simetría, producto de un Creador. Y como tal, la descripción de las armonías que rigen la naturaleza es gracias a las matemáticas y la geometría. Para Kepler estas últimas no tienen como función salvar las apariencias, sino que se constituyen en los medios para aprehender la naturaleza de forma adecuada, revelando la esencia de su naturaleza. Bajo esa visión, para Kepler la astronomía tiene como objeto descubrir las causas reales que obligan a los cuerpos celestes a realizar los diferentes movimientos observados (Rioja y Ordoñez, 1999; Kuhn, 1985).

La precisión tuvo para Kepler un papel importante, así como lo tuvo para Brahe. Las observaciones no se limitaron a momentos esporádicos y casuales, sino que adquieren en manos de Brahe un carácter continuo, regular y metódico, lo cual es de vital

importancia si se deseaba descubrir con precisión los movimientos planetarios a partir de las posiciones. Gracias a ello, Brahe acumuló datos por un periodo mayor a veinte años, lo cual permitiría después a Kepler estudiar diferentes configuraciones geométricas que lo llevarían al modelo de elipses. Él privilegió la exactitud en los cálculos, manteniéndose fiel a la precisión de los datos obtenidos por Brahe en sus observaciones.

Adicionalmente, las observaciones realizadas por Brahe jugaron un papel importante al poner en cuestión el sistema de esferas heredado de Aristóteles. Brahe observó en el año de 1572, un cuerpo celeste muy brillante en la constelación de Casiopea, que antes no estaba en esa posición. Este cuerpo celeste se mantuvo hasta 1574, cuando desapareció del firmamento³⁴. Después, entre 1577 y 1596 Brahe observó la aparición de seis cometas diferentes. Estos eventos celestes, especialmente los cometas, se solían explicar cómo cuerpos que se desplazaban por debajo de la esfera lunar, y que estaban supeditados al mundo sublunar. Brahe encontró por medio de la técnica de paralaje, que en el caso de la *nova stella* (como se categorizó al cuerpo observado en 1572), se encontraba más allá de los planetas, ya que este cuerpo no presentó ningún cambio de posición respecto a otras estrellas. Y en el caso de los cometas, la misma técnica le permitió a Brahe determinar que la posición de dicho cuerpo, estaba más allá de la esfera de venus, y que su trayectoria era ovalada, y atravesaba las esferas celestes.

Estas observaciones, cuestionaron la existencia de las esferas cristalinas que sostenían y movían los planetas, junto a la inmutabilidad de la esfera celeste y el orden del cosmos. Estos eventos conocidos por Kepler, le permitieron cuestionar la circularidad de la órbita de la Tierra y de marte, y encontrar otra forma que permitiera describir la órbita de los planetas que resultó ser la elipse. En cierta forma, Kepler cierra el capítulo histórico en torno a la pregunta de cómo se movían los astros, especialmente el Sol, la luna y los planetas. Las siguientes preguntas, a las que se procede a continuar la búsqueda de una respuesta, una vez desaparecen las esferas celestes, es la causa de dichos movimientos. Kepler propuso inicialmente la idea de una acción solar o “anima motrix” que impulsaba a los planetas en su movimiento a través de su trayectoria elíptica. Él consideró que si los planetas giran en torno al Sol, es debido a una acción del Sol sobre estos, de lo contrario, los planetas permanecerían en estado de reposo continuo. Kepler

³⁴ Se cree en la actualidad que Brahe presenció una supernova, que es la explosión de una estrella que se hace visible, por observación directa o a través de un telescopio.

mismo reformularía esta idea tiempo después. Habría que esperar posteriormente a Newton, quien propone la física de acción a distancia y la ley gravitacional, o el actual modelo relativista propuesto por Einstein, el cual atribuye el movimiento a una deformación de una entidad denominada espacio-tiempo. En ese sentido, con el modelo de Kepler, concluye la construcción de un modelo que describa las posiciones y movimientos de los astros, pero continúa y aporta a la construcción de un modelo que dé cuenta de las causas de dichos movimientos, que escapan a la intención de este trabajo, pero no deja de ser interesante en sí.

4.4.3. Instrumentos astronómicos del modelo de Kepler.

Como se mencionó anteriormente, los datos usados por Kepler para establecer la órbita elíptica de cada planeta en el modelo propuesto por él, provienen principalmente de Brahe. A su vez, Brahe obtuvo los datos gracias a su práctica de observación rigurosa y regular por veinte años, junto a la importancia que otorgó a la exactitud en las mediciones. La exactitud de los datos tomados por él fue posible gracias a dos importantes aspectos que en conjunto, mejoraron las prácticas de observación y registro.

El primer aspecto fue el tamaño y la estabilidad de los instrumentos, el cual en manos de Brahe superaban en dimensiones a los instrumentos tradicionalmente usados. Por ejemplo, el tamaño regular de los cuadrantes era inferior a 35 cm (Christianson, 2017; Rioja y Ordoñez, 1999). En esos tamaños o un poco más grandes (radio de 50 cm), se obtenían datos con una magnitud del orden de 30 a 10 minutos de grado. Por su parte, Brahe construyó cuadrantes que alcanzaban un radio de cinco o seis metros, o sextantes con un radio entre uno y dos metros y medio (véase fig. 39) (Christianson, 2017; Rioja y Ordoñez, 1999; Šíma, Z. 1993).

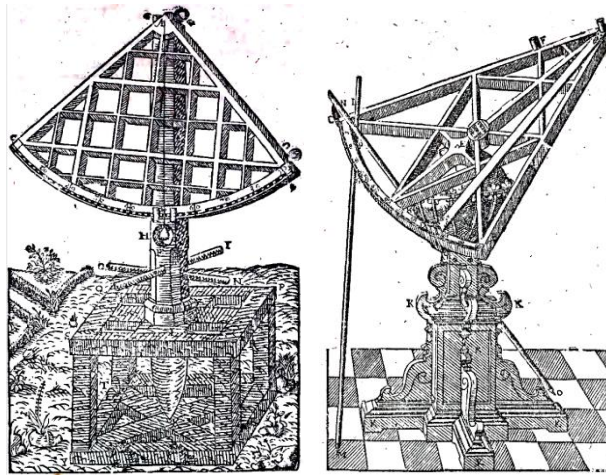


Fig. 39: Instrumentos construidos por Brahe. Izq.: Cuadrantes de 5,5m de radio. Usado para medir altitud y azimut de un astro Der: sextante de 1,6m de radio. Usado para medir distancias angulares entre astros. Fuente: Brahe, 1602 p. 57 (der.) y 69 (izq.).

Adicionalmente, Brahe procuró materiales sólidos para los instrumentos, preferiblemente metálicos (bronce o hierro) para hacerlos más estables. Era frecuente que los instrumentos estuvieran anclados por su base, a un pilar de piedra, el cual a su vez se encontraba incrustado en una cámara ligeramente por debajo el nivel del suelo (véase fig. 40) rodeado de una edificación que protegía el instrumento de los vientos y proporcionaba estabilidad térmica a los instrumentos, como cierto grado de confort al astrónomo y sus asistentes (Castro, 2019; Rioja y Ordoñez, 1999).

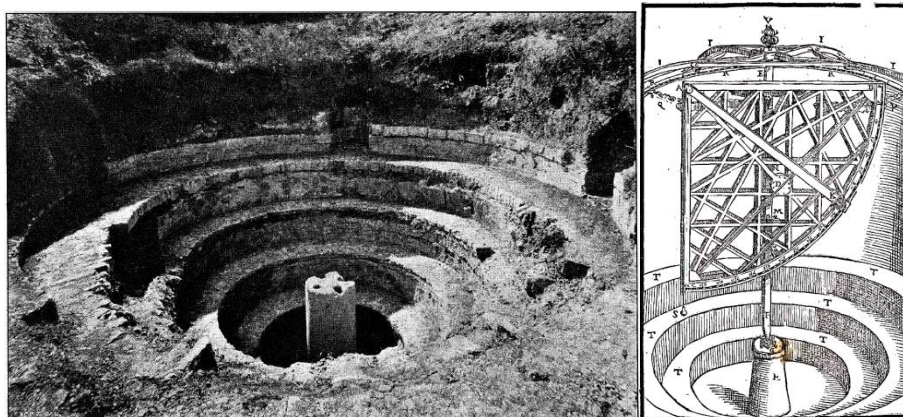


Fig. 40. Izq.: Ruina de una cámara construida por Brahe en la que se alojaba un instrumento. Der Cuadrante de 1,6 m de radio como se vería alojado en la cámara. Fuente: Castro, 2019. p. 72 (izq.); Brahe, 1602. p. 27 (der).

El segundo aspecto que tuvo en cuenta Brahe para mejorar la exactitud en las mediciones, fue el aumento de la precisión del instrumento gracias a la incorporación de

una escala que permitía medir valores inferiores a un grado. Por una parte, gracias al aumento del tamaño del instrumento, permitió que la escala aumentara su tamaño y a su vez, fuera posible aumentar la cantidad de subdivisiones dentro de cada espacio asignado a un grado de arco. Si bien esto ya se hacía antes de Brahe, su aporte radicó en dos aspectos: incorporar una escala diagonal, conformada por puntos. Esta escala diagonal, consistía en una sucesión de nueve puntos trazadas en diagonal entre cada una de las divisiones de 10 minutos³⁵. Cuando la regla que sostiene las mirillas (a través de las cuales se apunta la regla hacia el astro), se posicionaba sobre uno de estos puntos (punto I, fig. 41), se podían leer valores del orden de un minuto de arco³⁶, ya que cada punto correspondía a un minuto de arco.

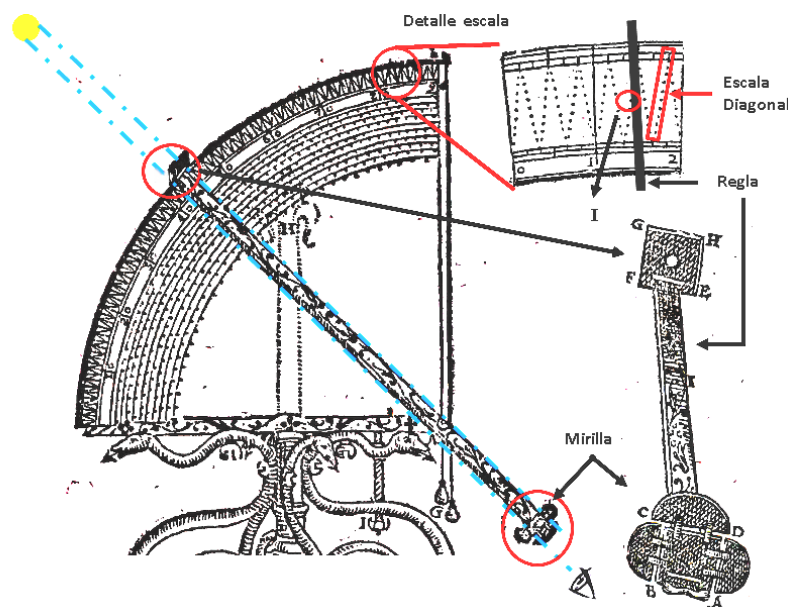


Fig. 41: izq.: Cuadrante; Arriba derecha: detalle de la escala; Abajo derecha: regla con mirilla de rendija. A-B-C-D: mirilla ocular; E-F-G-H: mirilla que apunta hacia el astro. I: punto de contacto entre la regla y la escala diagonal, que determina el valor de inclinación del astro. Fuente: adaptado de Brahe, 1602.

Cuadrante p.15; escala y regla: p.108.

Y por otra parte, la implementación de un sistema de mirillas dobles, que aumentaba la certeza de la posición de un astro. Los instrumentos anteriores a los contruidos por Brahe, tenían agujeros pequeños a través de los cuales se miraba hacia el

³⁵ Esta escala diagonal, se podía trazar sin problema alguno, teniendo en cuenta que para un cuadrante con un radio de 1,6m como el de la fig. 40, el espacio que abarca un grado sexagesimal, le corresponde una longitud de 2,8 cm, dejando un espacio de 4mm para una división de 10 minutos de arco. En el caso de un cuadrante de cinco metros, el espacio para subdividir un grado tenía a una longitud de 8,7cm, haciendo muy fácil la subdivisión en grupos de 10 minutos de arco.

³⁶ Un grado de arco esta subdividido en 60 minutos, por lo que 30 minutos equivalen a 1/2 grado, y 10 min equivale a 1/6 de grado.

astro, con lo cual se alineaba la regla y se determinaba la altitud o azimut de la estrella. Pero era frecuente que los agujeros fueran considerablemente grandes, lo cual restaba precisión, y si se reducía el tamaño, aumentaba la dificultad para apuntar al astro observado. Brahe solucionó este problema implementando un sistema de mirillas, que consistía en una placa ABCD (fig. 41) con ranuras en la cual se ubicaba el observador y una placa opuesta EFGH que apuntaba hacia el astro observado. Al observar un cuerpo celeste a través de la ranura CB, se desplazaba todo el conjunto de forma que el astro se encontrara justo sobre el borde GF de la placa opuesta. Después, se procedía a mirar a través de la ranura AD, de forma que el astro se debiera encontrar sobre el borde HE. De no ser así, se movía ligeramente la regla hacia la posición del astro a fin de lograr la visualización de éste por dicha ranura. De esta forma si el astro era observado en ambos bordes, la regla estaba perfectamente alineada con el astro y se registraba el valor de su altitud (Curt, 1989).

Como se mencionó antes, Copérnico aceptaba un margen de error del orden de 10 min, en tanto que Brahe en sus observaciones, como Kepler en sus cálculos, redujeron significativamente dicho margen de error. En este sentido se aprecia una preocupación por obtener datos exactos a través de los instrumentos, que llevó a modificar sus características físicas para hacer posible la obtención de un valor angular más preciso. Dichas modificaciones que van desde el material, el tamaño, hasta la incorporación de aditamentos para hacer los instrumentos más precisos, buscaban reducir el margen de error, producto de su manipulación o forma de uso (estabilidad, exactitud). Pero la lógica bajo la cual funcionan no se modifica. Sigue siendo la misma lógica geocéntrica bajo la cual fueron concebidos.

De otra parte, se resalta el papel que juega la forma en que se interpretan los datos que siguen organizándose en un sistema de referencias celestes. Si bien Copérnico planteo una nueva forma de organizar los planetas en torno al Sol, que permitía explicar de forma simple diferentes movimientos, esa organización disponía los datos en torno a círculos perfectos. Ello, junto a la limitada exactitud, obligó a Copérnico a seguir usando el sistema de excéntricas del modelo Ptolemaico. Por otra parte, en el caso de Kepler, el uso de datos más precisos y el tener en cuenta diferentes condiciones astronómicas recientemente observadas por Brahe (supernovas, paralaje de cometas), le permitieron interpretar los datos de una forma distinta y novedosa para la época, y así inferir la naturaleza elíptica de las trayectorias de los planetas.

4.4.4. Limitaciones del modelo de Kepler

El modelo propuesto por Kepler en comparación con los anteriores modelos, logra establecer de forma precisa y simple, los movimientos descritos por los planetas, el Sol y la Luna a través del cielo. Pero dejó preguntas sin responder en torno a las causas de dichos movimientos, preguntas que en los modelos anteriores se respondían gracias al esquema de esferas motrices heredadas de la física aristotélica. Si bien Kepler planteó la idea de una acción motriz causada por el Sol, esta explicación no era general para los movimientos de los cuerpos terrestres. En este punto se advierte que las preguntas tienen como centro, no la descripción precisa y la organización de las diferentes posiciones y movimientos de los cuerpos celestes, sino las causas de esos movimientos.

Las orbitas elípticas del modelo de Kepler permitieron cuestionar el movimiento circular perfecto planteado por la física aristotélica, dando paso a la necesidad de nuevas propuestas de orden físico que respondieran a las causas de los movimientos. Las observaciones de Galileo Galilei (1564-1642) sobre los cráteres lunares y las manchas solares cuestionaron la inmutabilidad de los cielos y de los cuerpos celestes. Las lunas de Júpiter recién observadas, permitieron repensar el orden del cosmos que no se consideraban en la física de Aristóteles. Y los aportes de Galileo sobre el movimiento y caída de los cuerpos, marcaron la ruta de acción para construir una nueva física, que como ya se mencionó, alcanzó un punto de inflexión, con Isaac Newton y sus aportes teóricos sobre la acción gravitacional.

4.5. Síntesis de los modelos históricos.

En el siguiente cuadro se exponen algunos de los elementos más relevantes que permiten caracterizar cada uno de los modelos descritos anteriormente:

Tabla 3: Aspectos relevantes de los modelos históricos relevantes sobre la organización y movimiento de cuerpos celestes.

Aspectos relevantes	M. Griego	M. Ptolomeo	M. Copérnico	M. Kepler
Objeto de estudio central que origina el modelo	Organización de los cuerpos celestes, que explique el movimiento a partir de las posiciones observadas	Geometría de las trayectorias circulares, conservando la física aristotélica	Geometría de las trayectorias circulares conservando la idea de esferas celestes, y con el Sol en el centro para simplificar movimientos	Descripción geométrica y matemática de la trayectoria de Marte que se ajuste con precisión a los datos y que relacione los periodos orbitales con las distancias de los planetas.
Preguntas-problemas	¿Cuál es el orden de los cuerpos celestes? ¿Qué sistema permite describir su movimiento?	¿Cuál es el sistema de círculos excéntricos más preciso que permite describir el movimiento de los cuerpos celestes?(Kuhn, 1985)	¿Cuál es el sistema de círculos racional que permite describir el movimiento de los cuerpos celestes, considerando que el Sol está en el centro del universo?	¿Por qué las posiciones predichas, no coinciden con los datos de las posiciones de los cuerpos celestes? ¿Por qué no coinciden con los cálculos de Ptolomeo y Copérnico?
Visión del Universo Imperante	Universo geocéntrico	Universo geocéntrico	Universo heliocéntrico Discusiones sobre un universo finito o infinito	Universo heliocéntrico Discusiones sobre un universo finito o infinito
Marco teórico del modelo	Física aristotélica	Física aristotélica	Física del movimiento que cuestiona la física aristotélica	Inicia la construcción de una nueva física que se consolida posteriormente (Galileo-Newton)
Estructura del modelo	Esferas concéntricas a la Tierra	Esferas concéntricas a la Tierra Sistema de círculos excéntricos (describen la apariencia de los movimientos)	Esferas concéntricas al Sol Sistema de círculos excéntricos (describen la apariencia de los movimientos)	Orbitas elíptica que describen la trayectoria elíptica de los planetas.
Posición del observador	Inmóvil y ubicado en el centro del universo	Inmóvil, pero a efectos de cálculo, puede considerarse desplazado del centro del universo.	Móvil y en movimiento circular respecto al centro del universo (traslación) y respecto a una Tierra en rotación.	Móvil y en movimiento con trayectoria elíptica respecto al Sol y respecto a una Tierra en rotación. (Kepler no es específico si el Sol es el centro del universo, y hay discusiones en la época sobre esta posición)
Papel de los datos de posición en el modelo	La posición de los planetas la Luna y el Sol es el dato del cual se ajusta el sistema de esferas. El dato define el sistema de esferas concéntricas, aunque está limitado a una órbita circular hace visibles problemas	La posición de los planetas la Luna y el Sol es el dato del cual se construye y ajusta el sistema de círculos excéntricos (epiciclos, deferentes y ecuantes), pero no altera el sistema de esferas.	La posición de los planetas la Luna y el Sol es el dato del cual se construye y ajusta el sistema de orbitas circulares (sistema ptolemaico adaptado a un universo heliocéntrico) No se cuestionan las	La posición de marte es el dato del cual se construye y ajusta la geometría de las orbitas elípticas, el cual es posteriormente confirmado con la posición de otros cuerpos celestes. Las esferas dejan de considerarse como

Aspectos relevantes	M. Griego	M. Ptolomeo	M. Copérnico	M. Kepler
	de las esferas.	El dato ayuda a determinar el sistema de excéntricas, limitado a una órbita circular geocéntrica.	esferas El dato ayuda a determinar el sistema de excéntricas, limitado a una órbita circular heliocéntrica. La interpretación ayuda a determinar un modelo heliocéntrico.	realidad objetiva y como elemento geométrico. El dato ayuda a determinar la trayectoria elíptica del planeta. El análisis del dato evidencia una trayectoria no circular en un modelo heliocéntrico.
Papel del instrumento en el modelo	Obtener la posición del planeta para describir la trayectoria circular del planeta. Lógica del instrumento: observador geocéntrico.	Obtener la posición del planeta para describir la trayectoria circular-excéntrica del planeta. Lógica del instrumento: observador geocéntrico.	Obtener la posición precisa del planeta para describir la trayectoria circular-excéntrica del planeta, Lógica del instrumento: observador geocéntrico. El dato se traduce a un sistema de referencias celeste.	Obtener la posición precisa del planeta para describir la trayectoria elíptica del planeta. Disminuye el margen de error en la toma de datos. Lógica del instrumento: observador geocéntrico. El dato se traduce a un sistema de referencias celeste.
Visión particular del autor(es)	Escuela pitagórica: el universo es organizado bajo una armonía que puede ser descrita geoméricamente. El círculo y la esfera son las formas por excelencia que representan la belleza y simetría. Escuela platónica: la dualidad del cosmos: mundo de las ideas (imperecedero e inmutable) y el mundo terrestre (cambiante y temporal). Posibilidad de conocer el mundo terrestre o sublunar (Aristóteles)	El círculo y la esfera como entes geoméricos que representan la belleza y armonía de los movimientos y formas. La geometría permite describir los movimientos de los cuerpos celestes y así salvar las apariencias, en tanto se conserve el ideal del movimiento circular (deferentes y epiciclos).	Ideal sobre la armonía del mundo, los movimientos de los cuerpos celestes se expresan en forma geométrica (circulo). El Sol como centro de gravedad de los cuerpos celestes, en tanto la Tierra de los cuerpos terrestres. La nueva organización justifica los datos observacionales que no lograron responder los anteriores modelos.	Ideal sobre la armonía del mundo, los movimientos de los cuerpos celestes se expresan en forma geométrica. Modelo inicial corresponde a un universo que es regular en función de los sólidos regulares o platónicos. Segundo modelo responde a la descripción geométrica que se aproxime de forma rigurosa a los datos observacionales obtenidos por Tycho: trayectorias elípticas.

Fuente: Elaboración propia

5. Resultados: Consideraciones y Propuesta De Aula

En este capítulo, se presentan los aspectos derivados del análisis tanto de la construcción de modelos en la enseñanza de las ciencias, como de los modelos históricos abordados. Y la discusión sobre aspectos tiene como resultado las consideraciones que orientan el diseño de una propuesta de aula centrada en la construcción de modelos en torno a la posición y movimiento del Sol y la luna. Estas consideraciones serán importantes ya que, en primera instancia, permiten abordar en el aula la posición y movimiento del Sol y la Luna como objeto de enseñanza. Con ello se busca establecer acciones que fortalezcan habilidades en los estudiantes, en torno a la comprensión y la construcción de explicaciones sobre eventos de carácter astronómico, y que se pueden extender a otras situaciones que se suceden en el entorno del estudiante. Y en segundo lugar, formular unos criterios que sirvan de orientación para el diseño de actividades que centren las acciones a ser realizadas y permitan ser puntuales y claros al momento de tomar decisiones en el diseño de otras propuestas que giren en torno a la enseñanza de la astronomía desde el enfoque centrado en la construcción de modelos.

5.1. Consideraciones Pedagógicas

Tras la revisión de los referentes teóricos en torno al modelo, desde el contexto científico y del sujeto, de la construcción de modelos y de los modelos históricos en torno a la posición y movimiento del Sol y la luna, se derivan tres aspectos centrales desde los cuales se extraen las consideraciones pedagógicas a tener en cuenta en el diseño de una propuesta de aula. Estos aspectos son: el papel de la experiencia y las preguntas en la construcción de modelos, el papel de la comparación de los modelos en la construcción de explicaciones, y el carácter del modelo como construcción conjunta.

5.1.1. La experiencia y la pregunta en la construcción de modelos

En la construcción de modelos, es importante el papel de las experiencias, de las ideas y de las preguntas, en tanto el estudiante se vale de estos elementos para construir explicaciones. Como se mencionó en el apartado de modelos, la experiencia es el conjunto de vivencias que ha experimentado el estudiante, producto de su propia interacción con ese objeto o situación que es observado de forma atenta (Arca, Guidoni y Mazoli, 1990). Los estudiantes establecen relaciones entre los saberes que derivan de su

propia experiencia y el objeto a estudiar. Y también a través de la experiencia directa, es decir la interacción a través de sus sentidos con el objeto de estudio, obtienen información de ese objeto natural en su contexto físico, información que le sirve de insumo para establecer relaciones entre las imágenes que se hacen del objeto. Y como se vio en el apartado del modelo, esas relaciones son significativas en tanto el objeto de estudio, sus características y lo que le sucede a ese objeto, tenga sentido para los estudiantes y los movilice a interrogarlo. En el caso de los movimientos del Sol y la Luna, es necesario visibilizar estos eventos, de forma que los estudiantes los encuentren significativos desde sus experiencias y les suscite preguntas sobre esos objetos celestes.

Para realizar actividades centradas en la construcción de modelos en torno a un objeto, es necesario partir de un problema que surge del interés por comprender lo que le sucede a ese objeto, o de un problema que emerge de las explicaciones ofrecidas por el modelo elaborado por el estudiante o que plantee el modelo científico cuando es comparado con el modelo construido. De cualquier forma, el planteamiento de un problema que sirve de punto de partida o constituye las nuevas preguntas que no estaban contempladas con anterioridad, es la clave en la construcción de modelos, en tanto moviliza al estudiante a interrogarse por el objeto estudiado como por las explicaciones que pueda formular frente a ese objeto.

Aquí son importantes dos condiciones. Primero, proporcionar elementos de trabajo que sean pertinentes al nivel de escolaridad del estudiante, como al de sus habilidades (manuales, cognitivas, etc.) y que le permitan establecer relaciones entre ese material con algún tipo de imagen que ya posee el estudiante, a las cuales él recurre para comprender el objeto estudiado y para la posterior elaboración del modelo. Y segundo, favorecer el experimento entendido como actividad en la cual el estudiante amplía su experiencia es decir sus vivencias e interacciones con un objeto-evento, de forma planificada y organizada y por tanto intencional (Malagón, Ayala y Sandoval, 2013). Es a través del experimento que el estudiante visibilizar características específicas de ese objeto que se estudia y establece relaciones entre las cualidades observadas, las magnitudes que les atribuye y el comportamiento físico del objeto que estudia desde esas cualidades.. Con estas condiciones se adquiere experiencia frente al objeto de estudio, y hace de esas experiencias uno de los insumos que les permita tanto cuestionarse como explicarse para sí y para otros el objeto estudiado.

Una particularidad del Sol y la Luna, es que no es posible intervenir de forma directa sobre estos cuerpos. Pero como permitió apreciar la revisión de los modelos históricos, en el estudio de los astros no fue necesario realizar una intervención directa sobre estos objetos. Lo que se buscó fue visibilizar algunas características particulares de dichos objetos, a través de los instrumentos, en términos de las posiciones que presentaban en diferentes momentos y con ellas describir los movimientos realizados. Por tanto, para el caso de la Astronomía, el experimento consiste en una actividad principalmente de observación, que es la descripción detallada organizada planificada y por tanto intencional (Malagón, Ayala y Sandoval, 2013) de una o varias características de un fenómeno, en este caso celeste, para visibilizar las diferentes posiciones que presentan el Sol y la Luna respecto a un punto de referencia para el observador, y atribuirles magnitudes (ángulo-grado sexagesimal respecto al horizonte-norte geográfico) que se constituyen en datos, los cuales son medidos, registrados e interpretados desde unas lógicas que se basan en la experiencia que tienen los estudiantes en torno al movimiento de otros cuerpos.

A propósito del uso de instrumentos en el experimento, se debe procurar que estos aparatos sean pertinentes tanto en su construcción como en su uso (gnomon, cuadrante, zócalo de Ptolomeo). En este último caso es importante que los estudiantes comprendan qué es un ángulo, cómo es que se mide este valor, cuál es su relación con la posición del Sol y la Luna y qué indican estos datos de esas posiciones. También es necesario explicitar cómo el instrumento mide ese valor, qué es lo que dice respecto a la posición del astro estudiado, y por qué es relevante esa información que obtienen. Y también en qué consiste esa actividad de observación, que más allá de un estado de contemplación pasiva, implica una acción activa, en la cual se ve en detalle el objeto, desde esa cualidad que se estudia (posición), se mide esa cualidad, se registra y posteriormente se hace uso de ese registro con un propósito específico, en este caso, comprender cómo se mueve ese objeto. También, se debe ofrecer a los estudiantes el acceso a otras fuentes de información que les permita comparar los datos que ellos obtienen con el que proporcionan esas fuentes. Con ello se busca favorecer la oportunidad de plantear interrogantes sobre los datos obtenidos, cuestionar el nivel de rigurosidad a la hora de obtenerlos y plantear preguntas sobre aparentes diferencias y semejanzas entre la información recolectada y la información de otras fuentes y la forma de interpretar y organizar la información obtenida.

Se encuentra de lo anterior, que la construcción de un modelo implica diferentes momentos. Un primer momento es definir y delimitar el objeto que se desea estudiar. Después, identificar y seleccionar uno o varios aspectos relevantes para el problema de estudio en torno al objeto y que permitan representarlo y simbolizarlo. Seguirá el uso de esa información que es un dato conformado por una cualidad y una magnitud para construir una especie de esquema o estructura que evidencie como cambian esa cualidad con el paso del tiempo y que permita jugar con las diferentes posibilidades que puedan tener las variables. Y después su posterior validación a partir de su puesta a prueba y con ello confirmar si ese esquema o estructura puede explicar a satisfacción lo que sucede con el objeto natural estudiado. Esa validación implicará que se asuman unos criterios de validez para dicho modelo, que dependen en gran medida de cómo lo que se conoce, da cuenta de lo que está pasando en ese objeto o situación de estudio. Y estos criterios no son formulados individualmente, ya que reconocen el contexto social, a la comunidad que comparte el contexto natural y a quienes tienen interrogantes, necesidades e intereses explicativos sobre su entorno.

Los modelos construidos por los estudiantes deben representar de forma organizada e integrada las diferentes posibilidades de estados físicos observados en los objetos estudiados (Sol y Luna) en términos de posición y movimiento de estos, considerados como un sistema físico que cambia en el tiempo y espacio. En ese sentido, es necesario guiar a los estudiantes durante la construcción de sus modelos, de forma que ellos identifiquen y cuantifiquen esas variables: tiempo y posición. Ya sea que el modelo sea expresado a través de una representación bidimensional (dibujo, gráfico, etc.) o tridimensional (maqueta, mecanismo, simulación corporal, etc.) estas deben dar cuenta de cómo juegan las variables mencionadas y qué explicaciones ofrecen los estudiantes con esas variables.

En síntesis, es necesario que:

- El estudiante reconozca el objeto y las características (posiciones del Sol/luna) que se va a estudiar (CP-eyp1)³⁷
- Plantear un problema que motive a comprender y construir explicaciones en torno al objeto estudiado (CP-eyp2).

³⁷ En adelante cada consideración tiene una nomenclatura que permita ubicarla dentro del diseño de la propuesta planteada en el siguiente capítulo.

- Proponer el uso de instrumentos de observación pertinentes al propósito de la actividad en el sentido que ayudan a los estudiantes atribuir magnitudes a las cualidades observadas del objeto (CP-eyp3).
- Explicitar el propósito y la forma de hacer la observación del Sol y la Luna (CP-eyp4).
- Organizar las actividades de observación, registro y construcción de explicaciones dentro de una secuencia lógica (CP-eyp5).
- Los modelos construidos explican el movimiento del Sol y la Luna (o de otros cuerpos), a través de las variables de tiempo y posición (CP-eyp6).

5.1.2. Comparación y discusión de explicaciones construidas en el aula

El modelo científico más allá de ser la meta de aprendizaje, es un referente desde el cual el maestro puede profundizar, aportar y orientar las discusiones que generen los estudiantes dentro del aula. Un aspecto que ayuda a enriquecer esas discusiones, es la comparación que se puede hacer entre los modelos y las explicaciones que los estudiantes construyen dentro del aula. La comparación entre los modelos ayuda a evidenciar las posibles semejanzas y diferencias entre las interrogantes que se responden y aquellas que no, la forma de organizar la información, las interpretaciones de los datos y las explicaciones presentes y ausentes del modelo elaborado por los estudiantes. Y les puede ayudar a los estudiantes a aproximarse a una mayor comprensión del objeto que se estudia y entender como es la forma de proceder de la ciencia como actividad.

La discusión es necesaria ya que las explicaciones que ofrecen los modelos construidos por los estudiantes, parten de las representaciones que surgen del contexto social de los estudiantes, conformado por el contexto educativo, su contexto cotidiano, de la información y creencias que el adquiere de su contexto familiar, entre otros. Y por tanto ayuda a los estudiantes a reconocer las posturas de otros compañeros, y poner en común a todos, tanto las preguntas como las interpretaciones que tienen otros miembros de su grupo sobre un objeto de estudio y por tanto, son significativos dentro de su contexto social. Por ello, la comparación es una actividad que les ofrece a los estudiantes la oportunidad de acercarse a los modelos elaborados por sus compañeros. La discusión producto de esa comparación entre los modelos que elaboran los estudiantes, hace emerger las ideas, imágenes, creencias, y experiencias desde las cuales los estudiantes

configuran sus representaciones mentales. Poner de manifiesto esos elementos, puede contribuir a que entre los estudiantes, se enriquezcan sus propias representaciones, las cuales ponen continuamente en juego cada vez que enfrentan un problema que los invite a elaborar explicaciones. Y a partir de esos elementos de las representaciones que tienen y elaboran los estudiantes, el maestro puede seleccionar aspectos de los modelos científicos desde los cuales puede enriquecer la discusión de los estudiantes.

Ahora bien, para que el maestro aporte a esas discusiones y mantenga en perspectiva las comparaciones que se pueden hacer, es necesario tener en cuenta que los estudiantes necesitan primero vivenciar su propio proceso de modelización, antes de interactuar con las explicaciones ofrecidas por los modelos científicos, ya que desde sus propios modelos, se aproximan y le dan sentido al objeto de estudio en sus diferentes condiciones físicas y obtienen elementos con los cuales comprenden las explicaciones de los modelos científicos. Una vez los estudiantes han tenido la experiencia de construir sus modelos, compararlos y discutirlos, tienen los elementos de base que les permita entender los criterios para comparar sus explicaciones con la que ofrecen los modelos científicos.

En esto último es necesario tener en cuenta que el maestro debe revisar el lenguaje y por tanto de los términos usados en las explicaciones ofrecidas por los modelos científicos (ecuatorial, excéntrica, deferente, elíptica, eclíptica, sidéreo, etc.) como de los formalismos matemáticos y geométricos. El maestro debe tomar decisiones en términos de extraer y simplificar aspectos que sean comprensibles y relevantes respecto a las habilidades nivel de escolaridad y más importante desde las preguntas de los estudiantes. Y también ayuda a que las discusiones que se suscitan de la comparación de los modelos construidos por los estudiantes, se encuentren en el mismo plano.

De lo anteriormente expuesto se derivan las siguientes consideraciones a tener en cuenta:

- La comparación de los modelos construidos por los estudiantes, ayuda a evidenciar las interrogantes, interpretaciones y explicaciones que elaboran los estudiantes sobre un objeto-evento y reconocer las explicaciones que elaboran otros (CP-cde1).
- La discusión sobre los modelos construidos ayuda a enriquecer las representaciones que tienen los estudiantes, desde las cuales construyen sus

modelos, y le permite al maestro identificar elementos de esas representaciones (CP-cde2).

- El maestro aporta criterios que orienten las discusiones, desde los referentes que obtienen de los modelos científicos, y de los elementos que identifica de la discusión de los estudiantes (CP-cde3).

Es de anotar, que seguramente los modelos elaborados por los estudiantes, difícilmente se constituirán en un nuevo modelo físico para describir el movimiento del Sol y de la luna, pero estas son construcciones desde las cuales, los estudiantes pueden comprender la forma en que se organiza un conjunto de elementos que abstraen de una situación particular y dan sentido a esa construcción que ellos elaboran. En este trabajo considera que, teniendo en cuenta los antecedentes y los referentes expuestos en capítulos anteriores, esa es la forma de proceder en la enseñanza a través de modelos, que acerca a los estudiantes al entorno físico con una mirada reflexiva y crítica, favoreciendo el aprendizaje de forma significativa para los estudiantes que contribuye al desarrollo de habilidades pertinentes para su contexto y les ofrece elementos para hacer una lectura significativa de los modelos científicos y con ello hacer de la ciencia más interesante, que otros métodos educativos cuyos ejercicios se limitan a la memorización o la exposición tradicional.

5.1.3. Los modelos como construcción compartida

Según permite identificar la revisión de los modelos mentales de los individuos, la representación, es una abstracción que hace el estudiante y de la cual se sirve para ordenar para sí mismo el entorno con el que interactúa (Greca *et al*, 2002). Ello implicará que el estudiante privilegie estas representaciones frente a otras que son ajenas para él, en tanto responden e incluso plantean nuevas preguntas frente a un evento que sucede en su entorno. Pero hay que resaltar que dichas representaciones surgen en un contexto social y también a partir de preguntas que se hacen otros miembros de su grupo, y por tanto son significativas dentro de su contexto social. Las representaciones elaboradas, así como la experiencia de haber organizado para sí los objetos y eventos de su entorno, se ponen en juego cada vez que el estudiante enfrenta un problema que lo invite a buscar explicaciones.

En función de lo anterior, los modelos le proporcionan al estudiante elementos desde los cuales comprender y reorganizar un aspecto físico de su entorno natural de

forma comprensible para él. Y le ayudan a comunicar a otras personas lo que él ha aprendido en términos de las explicaciones que ha elaborado. Por lo tanto, el modelo es un medio tanto para interactuar con un aspecto particular del entorno, como también desde el cual, construir explicaciones en forma conjunta a otros individuos con los que comparte una o varias preguntas sobre un objeto de estudio. Esto ayuda a visibilizar que la ciencia es una actividad que es realizada por comunidades de personas que comparten preguntas sobre la naturaleza y que siguen, modifican e incluso construyen nuevos métodos tanto para formular nuevos modelos como para ponerlos a prueba.

Ahora bien, para que el estudiante pueda construir relaciones entre los diferentes elementos, es necesario favorecer las actividades colectivas, que lleven a los estudiantes a conocer las explicaciones que se derivan de las representaciones de sus pares. Es importante reconocer que el maestro tiene un papel activo, ya que se constituye en un mediador que acerca a los estudiantes a otros contextos históricos, así como él también es un actor en dicho proceso de construir modelos que realizan los estudiantes, al proporcionar las condiciones y guiar a los estudiantes en ese proceso. En ese sentido la construcción de modelos y su uso para explicar eventos naturales, privilegia la actividad social y por tanto grupal de los estudiantes en un aula.

De lo anterior se derivan las siguientes consideraciones:

- El modelo que construyen los estudiantes ayuda a comunicar a otros las explicaciones que se han construido sobre un objeto de estudio (CP-mcc1).
- La construcción de ese modelo debe ser un proceso que privilegie la actividad social en términos de favorecer la interacción entre estudiantes (CP-mcc2).
- Los modelos construidos deben ser socializados, ser sometidos a discusión y constituirse en fuente de nuevas interrogantes por parte de los estudiantes (CP-mcc3).
- El maestro tiene un papel importante en ese proceso de discusión de los modelos en tanto el mismo se constituye en una fuente de información, como en actor en la construcción de modelos (CP-mcc4).

5.2. Consideraciones Epistémicas

A partir del análisis de los modelos en el contexto científico y educativo y de los modelos históricos sobre la posición y movimiento de la Luna y el Sol, surgen tres aspectos de los cuales se derivan las consideraciones epistémicas. Estos aspectos son: la comprensión y construcción de explicaciones en torno a un fenómeno, la abstracción y simplificación de un objeto u evento natural, y el papel de la sociedad en los modelos.

5.2.1. Comprensión y elaboración de explicaciones en torno al fenómeno

A partir del análisis de los modelos históricos abordados, se encuentra que esos modelos fueron construidos obedeciendo a una preocupación por comprender y explicar los movimientos de los cuerpos celestes. Aunque estos movimientos son aparentemente constantes, presentan unas condiciones particulares que se repiten de forma regular. Es decir, las posiciones relativas de los cuerpos celestes cambian en un periodo de tiempo, pero dichos cambios son regulares. El problema que surgió fue comprender la naturaleza de ese movimiento y explicar de forma lógica esos cambios que se presentan periódicamente. Ello implicó cierta forma de proceder de quienes observaron esos eventos, que fue registrar las posiciones de dichos cuerpos y después organizar esos registros para elaborar una estructura teórica coherente desde la cual se comprende y explica por qué se dan esos cambios en el movimiento de los astros. Posteriormente, la validación del modelo construido consistió en verificar la capacidad del modelo de predecir con cierto margen de precisión, futuras posiciones de los cuerpos celestes, entre ellos el Sol y la luna.

El observador frente al objeto observado no es un sujeto pasivo, sino que tiene un rol activo. Como se apreció en los referentes que describen los tipos de modelos desde lo individual (modelo mental) como social (modelo conceptual), el sujeto está continuamente jugando con una serie de imágenes que tiene de los objetos, extrae las características más relevantes y formula de forma continua relaciones entre los diferentes entes materiales que observa y otras entidades no tangibles (cualidades). En este punto es necesario resaltar el papel que tiene el fenómeno, entendido como un suceso o un evento que transcurre en torno a un objeto natural cuya principal y necesaria condición es que es cognoscible para un sujeto, o como afirman Sandoval, Malagón, Garzón, Ayala & Tarazona (2018), “el fenómeno requiere de alguien ante quien aparecer” (p.18).

Es decir, si el cambio de la posición del Sol es considerado por un sujeto como algo frecuente y cotidiano, pero no le genera preguntas, ese cambio de posición no es un fenómeno para ese sujeto. Pero si dicho cambio de posición es objeto de una observación cuidadosa por el sujeto, quien tiene preguntas sobre la naturaleza o la lógica de esos cambios, y eso lo moviliza a realizar un conjunto de acciones para comprender en detalle esos cambios, ese evento se constituye un fenómeno para ese observador. Según lo visto, parece ser que esas preguntas no se responden de forma inmediata, y no se formulan para averiguar aspectos evidentes y superficiales de pronta respuesta. Más bien, buscan explicaciones a ciertos aspectos de ese objeto que demandan una serie de acciones, una cuidadosa atención, acompañada de una organización particular de unos elementos específicos que hacen posible observar y comprender ese objeto de estudio. Esos elementos son la organización de las características a observar, la definición de magnitudes que describan esas características, y el determinar el tipo de instrumentos que miden magnitudes (Sandoval *et al*, 2018).

En línea con lo anterior, el modelo tiene un rol activo entre el observador y el fenómeno. El modelo se constituye en una especie de instrumento de orden conceptual, construido por el observador en tanto desea conocer, comprender y explicar algo que es objeto de preocupación para él. Y esa construcción está permeada no solo por el marco teórico que estudia un dominio de fenómenos, sino también por las lógicas o criterios de organización que tiene el sujeto y sus experiencias frente al objeto a estudiar. Esa organización se encuentra en un plano individual, de la que dispone el individuo para entender qué es lo que observa, y realizar su propia interpretación a partir de eso que observa (Hanson, 1965). Esto último ofrece dos posibilidades como dejan ver los modelos históricos. Por una parte, la aceptación y continua sustentación de un marco teórico imperante que coincide con la forma individual de organizar el fenómeno, o la formulación de un nuevo modelo que responde a preguntas que deja sin contestar el anterior modelo, en tanto no es suficiente para organizar lo observado en forma coherente. Se evidencia en este punto la importancia que tiene la forma en que el observador se posiciona frente al fenómeno, y cómo pone en juego su lógica y experiencia para organizar e interpretar la información que obtiene del objeto estudiado.

Por lo tanto, las nuevas preguntas que surgen junto a la experiencia que resulta de observar o en algunos casos interactuar con el evento y plantearse nuevas lógicas de organización (geocéntrico-heliocéntrico, círculos-elipses, esferas-orbitas), resultan de un

fenómeno que es cambiante en la medida que cambia la conciencia del observador sobre el objeto de estudio, como señalan Sandoval *et al* (2018). En este orden de ideas, parece no ser una precondition en la construcción de modelos que el observador sea en un sentido estricto, un científico. Un modelo tiene el potencial de ser formulado por cualquier sujeto, en la medida que éste tenga una preocupación, por comprender un objeto presente en su contexto. Es de resaltar que el nivel de rigurosidad de ese modelo que se construye, varía en función de las lógicas y experiencias que se ponen en juego por quienes construyen un modelo.

A la luz de los anteriores análisis, el modelo que construyan los estudiantes por sí mismos es más significativo para ellos, en términos de que es el referente desde el cual comprenden y explican un evento, a partir de su lógica y de sus experiencias, lo cual sería difícil desde un modelo que no tiene ningún tipo de relación con la experiencia de los estudiantes. Los marcos teóricos y los modelos científicos construidos a partir de ellos, sirven como punto de referencia desde el cual el estudiante se fundamenta sobre el objeto de estudio. Y bien pueden seguirse manteniendo en pie o entrar en un proceso de revisión a la luz de nuevos hallazgos y preguntas sin responder.

Con base en lo anterior, las consideraciones a tener en cuenta si se desea abordar el movimiento del Sol y la luna, o de otro cuerpo celeste son las siguientes:

- La construcción de un modelo debe estar acompañada de una preocupación por comprender y explicar un evento celeste y un conjunto de acciones sobre el objeto observado (CE-cce1).
- El movimiento del Sol y la Luna (y otro evento celeste) se constituye en fenómeno en tanto el estudiante sea consciente de ese evento, le surjan preguntas sobre ese evento y realice actividades específicas que lo lleven a elaborar explicaciones del objeto estudiado (CE-cce2).
- La construcción de explicaciones implica poner en juego las lógicas y experiencias del sujeto frente al fenómeno que ha motivado su estudio (CE-cce3).
- Un marco teórico preexistente puede proporcionar elementos de partida para estudiar el objeto, pero no necesariamente se mantiene inalterable, ya que puede ser cuestionado por el estudiante (CE-cce4).

5.2.2. Abstracción, simplificación y representación del objeto de estudio

Los modelos abstraen aspectos relevantes de un dominio de fenómenos siguiendo un marco teórico y/o las lógicas y experiencias del observador. Esta abstracción ayuda a organizar las características específicas del objeto de estudio en un sistema construido para tal fin. Y es gracias a esa organización de los elementos que se abstraen del objeto de estudio, que hacen posible su posterior representación dentro de un modelo. Respecto a la organización, Sandoval, *et al* (2018) señalan que este proceso implica la identificación de un conjunto de cualidades, la construcción de magnitudes y la construcción de formas de medir esas cualidades a través de instrumentos. Es decir, en un primer momento es necesario identificar y seleccionar una o varias cualidades significativas de dichos objetos, que se relacionen con las características que se desea comprender. Esta selección es necesaria en tanto centra la mirada en un aspecto particular de ese objeto, de forma que se pueda construir un modelo que sea sencillo en la cantidad de elementos (esquemas, formulas, etc.) que lo conformen y que explique el fenómeno estudiado. Posteriormente se requiere definir la magnitud que atribuye un valor a esa cualidad, y define el tipo de instrumento mediante el cual se asigna ese valor (cualitativos-cuantitativos). Esta combinación cualidad-magnitud es lo que constituye el dato, y este valor es la forma en que se simplifica esa cualidad observada y hace posible representarla posteriormente. El papel del instrumento es medir esa cualidad de forma objetiva.

Un ejemplo de dicha combinación cualidad-magnitud, en el caso del Sol o de la Luna es la siguiente. La cualidad que se atribuye, observa, selecciona y abstrae es la distancia angular respecto al horizonte y un punto cardinal. Es decir la apertura que presenta un astro respecto al norte geográfico y el horizonte, cuando se proyectan líneas desde el observador hacia el astro y hacia el punto de referencia. Los valores de esas aperturas son llamados respectivamente altitud y acimut (véase fig. 42). Y la magnitud es la unidad con la cual se describe esa apertura angular, en este caso el grado sexagesimal.

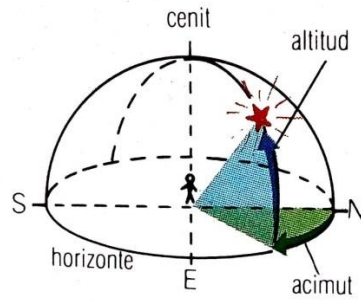


Fig. 42 Altitud y acimut. Fuente: Ridpath, 1987. p. 11.

En este trabajo se considera necesario añadir otro elemento a ese proceso de organización, y es un sistema o estructura teórica mediante el cual se organizan esos datos en el modelo. Este elemento se requiere por dos razones importantes. Primero, proporciona coherencia entre el marco teórico (o conjunto de razones lógicas en ausencia de un marco teórico inicial) bajo el cual se estudia el objeto y la información (cualitativo y/o cuantitativo) obtenidos de la experiencia con el objeto de estudio, a través de la observación-experimentación. En el caso del Sol y la luna, esa estructura que organiza la información es un sistema de referencias (local o celeste) en el que se determina la posición de estos cuerpos. Segundo, por lo menos en el caso del movimiento de los astros, ese sistema de referencias representa la posición del objeto a través del dato, de forma que sea posible visualizar los diferentes estados que tiene el objeto en el entorno natural del que es abstraído.

La organización de los datos no es de naturaleza fortuita, ya que se corresponde a una organización preexistente que se legitima desde el marco teórico y desde el grupo social que estudia el objeto. Y el sistema de referencias astronómico ayuda a mantener la simplicidad, en tanto solo admite cierto tipo de cualidades que resultan relevantes en el modelo y que por tanto simplifican la representación del objeto-fenómeno, ya que si se tiene en cuenta todas las cualidades del objeto dentro del modelo (tamaño, color, forma, distancia, posición, etc.), mucha de esa información puede generar confusión o distracción en las explicaciones que se elaboran y harían del modelo una especie de estructura excesivamente compleja o hasta inviable. Una consideración a tener en cuenta en este punto, es el hecho de que Copérnico y Kepler, se hayan valido del sistema de referencias local y ecuatorial, siendo que estos fueron elaborados bajo una lógica geocéntrica. Si bien ellos construyen modelos heliocéntricos, el sistema de referencia local o ecuatorial, mantiene la simplicidad y practicidad de representar los datos desde

una configuración que pone al observador en el centro. Esta configuración es simple y favorece al sujeto como observador, ya que esta es la lógica que hace posible estudiar de forma sencilla los cuerpos celestes.

Si Copérnico o Kepler hubieran planteado un nuevo sistema de referencias diferente al usado, por ejemplo con el Sol en el centro y el uso de algún tipo de coordenadas desde el plano solar se hubieran enfrentado a varias dificultades. Primero es necesario ubicar al observador en ese sistema de referencias, en un sitio que si bien se corresponde con su situación espacial, no es familiar desde la experiencia del observador. Ya de por sí, es hasta la reciente navegación en inmediaciones de la Tierra, que se ha evidenciado la dificultad y complejidad que suscita orientarse en el espacio. Segundo, es necesario traducir las observaciones y los datos de los cuerpos estudiados a ese sistema, lo cual aumenta la complejidad de las operaciones y representaciones matemáticas y geométricas. Tercero implica tratar de encontrar relaciones entre los objetos y sus posiciones en ese sistema que desfavorece al astrónomo como sujeto central³⁸. Por otro lado el sistema de referencia geocéntrico se ha mostrado más intuitivo y práctico para el observador, y solo requirió tener en cuenta que el observador se mueve alrededor del Sol, y establecer las posiciones relativas entre el mismo observador y la Luna (o de otros cuerpos celestes) respecto al Sol.

Continuando con la organización que ofrece el sistema de referencias, los modelos elaborados en torno a la posición y movimiento del Sol y la Luna requirieron cierta forma de abstracción de dichos cuerpos y de sus posiciones, que hizo posible simplificarlos y posteriormente representarlos. Se encuentra que algunos elementos geométricos (esferas, círculos, excéntricas, deferentes, elipses) constituyeron elementos de organización desde los cuales se simplifica y describen los movimientos de los cuerpos celeste y facilita elaborar explicaciones sobre los cambios de posición. Estos elementos en conjunto, configuraron un sistema conformado por entidades reales y tangibles para quien lo usaba. Una de estas entidades es el fondo celeste, conformado por estrellas aparentemente estáticas (a corto plazo en la escala de miles de años) y relativamente constante a lo largo de innumerables noches. Otra entidad fue el horizonte o frontera entre el cielo celeste y la tierra firme (o la superficie del mar). Y una tercera entidad es la situación espacial del

³⁸ Un ejemplo que ilustra estas dificultades para esa época, sería tratar de describir la trayectoria de una pelota en movimiento dentro de un salón, usando como referencia un punto ubicado al otro lado de la ciudad, y disponer de reglas de 30 cm para medir las distancias. Es posible, pero sería impreciso, muy complejo en términos numéricos e impráctico.

mismo observador, el cual se considera como centro de la observación y es el punto desde el cual se determinan las distancias angulares entre los astros y los puntos de referencia.

También, el sistema de referencias está conformado por componentes figurativos (no son materiales, pero que se representan a través de puntos y líneas), configurados a partir de puntos visuales para el observador. Por ejemplo, los polos celestes son proyecciones de puntos u objetos celestes (en el caso del polo norte es la estrella polar) respecto a los cuales, las estrellas describen movimientos circulares o de rotación. El ecuador celeste corresponde a un punto visual en el firmamento (no es un punto físico, sino una posición específica en el firmamento) que es ocupado por el Sol durante los equinoccios, punto que es proyectado en un trazo circular alrededor de la esfera terrestre. Y los trópicos son proyecciones circulares de un punto que es ocupado por el Sol en los solsticios. Esos componentes se integran con otras entidades figurativas (meridianos, latitudes, etc.) que se requieren en la medida que aumenta la complejidad en la descripción de las posiciones de los astros.

Todos estos elementos de referencia ponen en común las observaciones individuales ya que, si bien están influenciadas por la subjetividad del individuo, ayudaron a enmarcar los datos de forma que sea comunicable a otros individuos. Esta forma de organizar los datos de los objetos, ponía en juego otras cualidades (brillo, tamaño aparente) para intentar construir relaciones y explicar cambios en esos otros parámetros a partir de relaciones que se construían. A su vez se daba sentido a los datos y hacia posible estimar a futuro las posiciones de los cuerpos celestes. Y en ese sentido ha sido tal la practicidad y simplicidad de este sistema construido en la concepción de un universo geocéntrico, que incluso la astronomía de posición actual, conserva este sistema.

De todo lo anterior se encuentra que:

- La construcción de explicaciones sobre un objeto-situación, implica abstraer información de ese objeto (CE-asr1).
- En el caso del Sol y la luna, el dato requerido para su modelación está conformado por una cualidad (posición respecto a un punto de referencia) a la que se atribuye una magnitud (ángulo) (CE-asr2).
- El dato obtenido se organiza en un sistema que contextualiza la información obtenida, darle sentido y simplificar el fenómeno observado. En el caso del Sol y

la Luna esa organización es posible dentro de un sistema de referencias locales o celestes (CE-asr3).

- La representación de un objeto está ligada a la cualidad abstraída del objeto y el sistema de referencias enmarca, describe, da sentido a esa cualidad observada y ayuda a establecer relaciones y construir explicaciones (CE-asr4).

5.2.3. El contexto social en los modelos

Cada grupo o comunidad posee unas imágenes sobre el conocimiento. En el caso de las imágenes de conocimiento que se usan para describir y explicar el entorno natural, estas se construyen de forma continua gracias a la interacción de imágenes individuales. Estas imágenes o representaciones configuran y conforman las interpretaciones particulares que cada sujeto hace de los objetos naturales que observa. Y esas interpretaciones son de orden subjetivo, a pesar de que pueden referirse al mismo objeto natural que es objeto de atención (Hanson, 1965). El papel de una comunidad dentro de la ciencia es que pone en discusión esas interpretaciones, las cuales son sometidas a escrutinio por los integrantes, son defendidas o rechazadas mediante argumentos y terminan siendo aprobadas o rechazadas por dicho grupo. Y estas a su vez, determinan para cada comunidad o grupo social, tanto las fuentes de conocimiento, el marco teórico construido desde un modelo, así como la legitimación y validación tanto de nuevo conocimiento, y de nuevos modelos que se enmarca en esos corpus de conocimiento. Pero como se ha establecido, también pueden ser sometidas a nuevos juicios a raíz de nuevos hallazgos. Para el caso de la ciencia, la experiencia, los datos extraídos del objeto de estudio, las analogías, los descubrimientos e incluso las ideas, son elementos desde los cuales tanto se valida un modelo realizado sobre un objeto natural como se revisa un marco teórico predominante (Elkana, 1977).

Ello implicará que el modelo estará enmarcado en un contexto social y cultural y por lo tanto, se espera que esté influenciado en diferentes grados por la visión de mundo presente en el espacio y tiempo bajo el cual fue formulado. Los modelos en torno al movimiento de los cuerpos celestes, fueron dependientes principalmente de dos condiciones: el marco teórico que explicaba la física de los cuerpos en el universo y la posición del observador respecto a los cuerpos observados, ya sea que a este último se le considere inmóvil o en movimiento respecto al cuerpo observado. Este papel del sujeto

como observador, fue importante ya que da cuenta de la visión personal y social bajo el cual fue construido el modelo y del contexto social e histórico en el que se construyó. Y bajo la consideración de que existen diferentes observadores en diferentes puntos del globo terrestre, surgió no solo un sistema de referencia que diera cabida a varios observadores y sus diferentes posiciones en el globo terrestre, sino también a una actividad de intercambio y argumentación de las diferentes observaciones, como de los modos de comprender y explicar el movimiento de los astros.

Por otra parte, los modelos en torno al movimiento de los astros tuvieron un papel frente al marco teórico imperante, ya que fueron el referente considerado por una comunidad científica para sustentar y validar, o plantear una nueva forma de explicar un conjunto específico de eventos. Los modelos elaborados por los científicos no necesariamente siguieron un desarrollo lineal en la construcción de explicaciones en torno a los movimientos de los cuerpos celestes, ya que en un mismo periodo histórico estuvieron presentes diferentes marcos teóricos, que difieren en las explicaciones que construyen. Este proceder no lineal da cuenta de las formas en que se ha constituido históricamente la ciencia como actividad socio-cultural. El desarrollo de los modelos estuvo condicionado según el tipo de representaciones colectivas que tenía una comunidad, y que a su vez suscitaba preguntas compartidas en algunas ocasiones, o distintas en otras, sobre los eventos naturales.

De lo anterior se encuentra que

- Los modelos científicos son construidos bajo los imaginarios individuales y sociales que tienen los participantes sobre el objeto modelado (CE-psm1).
- El papel del modelo construido no se limita a validar y argumentar la imagen tanto individual y grupal de quienes elaboran el modelo, de hecho, ofrece la posibilidad de cuestionarla (CE-psm2).
- Es necesario reconocer el papel que tienen los aportes individuales como colectivos que se ponen en juego, tanto en la construcción de un modelo como en su proceso de revisión, validación o rechazo (CE-psm3).

5.3. Consideraciones Disciplinarias

Igual que en las anteriores consideraciones pedagógicas y epistémicas, en esta ocasión la revisión de los modelos históricos, permite establecer tres aspectos relevantes en torno al proceso de construcción de modelos, de los cuales se extraen las consideraciones disciplinarias. Estos aspectos son: identificación y descripción de los cambios de posición del Sol y la luna, la observación a través de instrumentos, y la organización de los datos.

5.3.1. Identificación y descripción de los cambios de posición del Sol y luna.

La construcción de los modelos fue motivada por una preocupación centrada en comprender y explicar los cambios observados en la posición del Sol y de la luna. Como fue mencionado antes, fue fundamental que ese cambio de posición fuera visible para quienes lo observaran y estudiaron, a fin de poder hacer una descripción detallada desde la cual formular explicaciones. Una vez que esos cambios fueron evidentes, se identificaron principalmente dos tipos de movimientos. En el caso del Sol, estos son el movimiento diurno y anual. Y la Luna describe movimientos diurnos y mensuales³⁹. Para hacer visibles estos eventos, la revisión histórica hace ver que es necesario tener en cuenta dos factores: el tiempo de observación y el método para visibilizarlos.

En términos del tiempo, el Sol experimenta un cambio de posición continua durante el transcurso de un día, que es visible por un lapso de tiempo aproximado a 12 horas. Respecto al cambio de posición que es posible observar en el periodo de una hora, el Sol y la Luna presentan un cambio de posición en un valor aproximado a 15° ⁴⁰. Pero en el caso de movimientos anuales, estos demandan observaciones continuas durante periodos de tiempo largos, que en una actividad escolar puede suponer algunas dificultades. Pero es posible detectar cambios en intervalos de un mes e incluso de una semana, que pueden servir como punto de partida para la construcción de un modelo. Si se desea mostrar cambios en tiempo más largos, se puede optar por recurrir a otras fuentes de información o simuladores, con las implicaciones pedagógicas que derivan (pertinencia al nivel educativo de los estudiantes, contextualización de la información, entre otros). Un ejemplo muy claro de ese cambio, es algún tipo de registro visual que

³⁹ Estos movimientos fueron descritos en el apartado “Problema abordado por el modelo griego”.

⁴⁰ Este valor es resultado de dividir el valor angular de la rotación de la tierra (360°) en un periodo de 24 horas.

evidencie el cambio de posición en el horizonte, en diferentes meses, como el que se observa en la fig. 43. En cuanto a la observación en intervalo de tiempos cortos, el movimiento del Sol se puede detectar de forma indirecta, gracias a instrumentos que proyectan la sombra, como el gnomon o el zócalo de Ptolomeo⁴¹.



Fig. 43: Puntos de puesta del Sol en diferentes momentos del año. Fuente: Juvekar, 2016.

Respecto al movimiento de la luna, esta presenta cambios de posición durante el día (equivalente a aproximadamente 15 grados de desplazamiento por hora), los cuales pueden ser registrados de forma directa a través del cuadrante, el astrolabio, entre otros instrumentos. Y en cuanto al movimiento mensual descrito por ese cuerpo, la diferencia de posiciones en un intervalo de días es fácilmente visible, gracias al periodo orbital de 27 días, lo cual implica que si se compara la posición de la Luna en una hora determinada entre dos días consecutivos, la Luna cambia de posición respecto al día anterior, en un valor aproximado de 13°. Un instrumento muy práctico para medir la posición de la Luna es el cuadrante, ya que este es muy sencillo en su construcción como en su uso, y hace posible medir valores angulares de forma directa.

Otra cualidad observable que se une a los anteriores aspectos es el hecho del cambio del tamaño aparente del Sol y la luna, (véase fig. 38) el cual tiene ciertas dificultades para ser observado de forma directa, en el caso del Sol, y pueden presentar cierta dificultad para ser detectados a partir de los instrumentos mencionados en la revisión histórica. Pero el hacer evidente este cambio del tamaño es una variable necesaria a tener en cuenta, ya que sirvió en su momento para cuestionar las orbitas esféricas del modelo griego, e incluso presentaron problemas en términos de elaborar una

⁴¹ Si bien otros instrumentos como el cuadrante que hacen uso de mirillas, permiten medir la inclinación del sol, la observación directa de este produce lesiones en la retina.

explicación satisfactoria dentro del modelo de Copérnico. Ahora bien para el caso de las orbitas elípticas formuladas en el modelo de Kepler, sin lugar a dudas, llegar a un análisis o recolección de los datos que le permitieron a Kepler plantear esa forma de trayectoria, tiene sus dificultades operativas en términos de tiempo e instrumentos (tamaño, precisión y habilidad en su uso) requeridos.

Otro recurso que se muestra útil, no mencionado en los referentes consultados, es el analema (fig. 44), que consiste en una composición fotográfica de registros visuales tomados en varias fechas durante el año. Las fotografías son realizadas a la misma hora y después se compilan dentro de una misma imagen. Este recurso, junto a otras fotografías que muestran los tamaños aparentes, muestra la posición del Sol en los equinoccios y solsticios. Y pueden servir para evidenciar la diferencia de velocidades que experimenta la Tierra en su trayectoria alrededor del Sol, dando cuenta de la trayectoria elíptica de la Tierra como lo advirtió Kepler.

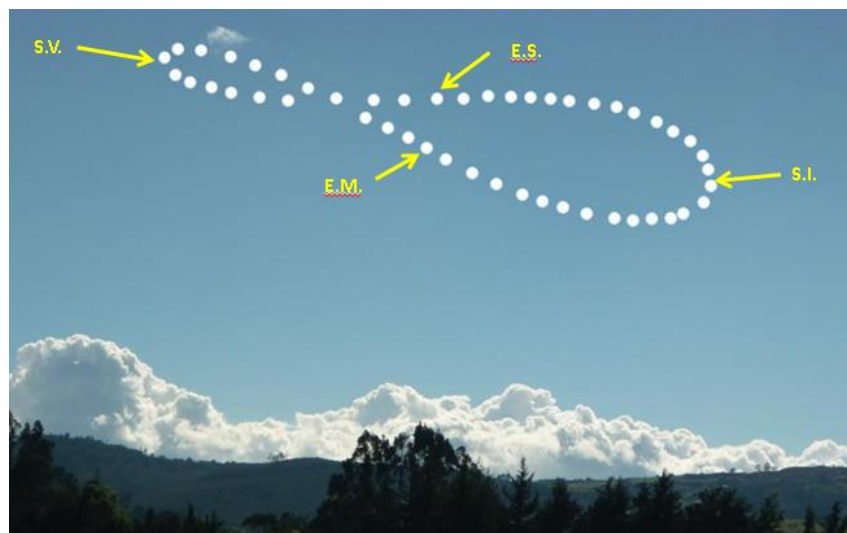


Fig. 44 Analema Solar. Posiciones del Sol en: Junio o Solsticio de verano (S.V.); en Equinoccio de Septiembre (E.S.); en Diciembre o Solsticio de invierno (S.I.); y en Equinoccio de marzo (E.M) Fuente: adaptado de Calvo, 2018. p. 45.

Lo anterior deja ver la necesidad de que el maestro tenga un dominio básico en la comprensión de estos eventos. Ese dominio disciplinar le ayuda a plantear y desarrollar actividades que motive a los estudiantes a cuestionarse frente a la naturaleza de esos cambios, así como guiarlos en el proceso de proponer otras preguntas y respuestas. Y posteriormente construir explicaciones organizadas en un modelo elaborado por ellos. A su vez, ese dominio básico de los movimientos del Sol y la Luna le facilita seleccionar información que sea pertinente para las preocupaciones y preguntas de los estudiantes, y

centrar las actividades en torno a la elaboración de un modelo que explique dichos cambios. También le ayudan a centrar la mirada en otro aspecto que el maestro considere oportuno abordar, pero sin producir distracciones con información o actividades anecdóticas (y en ocasiones meramente especulativas) que pueden no ser pertinente al nivel educativo de los estudiantes, o a la imagen de ciencias que se desea propiciar el maestro. Y ayuda a filtrar otro tipo de saberes que están fuera del margen de preguntas que busca responder la actividad científica.

De lo anterior se encuentra que:

- Para visibilizar el movimiento del Sol y de la luna, es necesario tener en cuenta el tiempo que se emplea para hacer evidentes los cambios en la posición, como las condiciones para hacerlos visibles (CD-idc1).
- En algunos casos es necesario apoyarse en el uso de otras fuentes de información, que hagan evidentes los cambios de posición del Sol y la luna, en especial que requieran márgenes de tiempo superiores a meses (CD-idc2).
- Es necesario que el maestro tenga cierto nivel de comprensión y un dominio básico de los cambios que experimenta el Sol y la Luna en sus posiciones relativas, para así poder plantear y orientar actividades, seleccionar recursos que aporten en la construcción de explicaciones en torno a esos eventos, que acerquen a los estudiantes a la actividad científica (CD-idc3).

5.3.2. Observación a través de instrumentos

Respecto a los instrumentos usados para determinar la posición de los cuerpos celestes, estos se caracterizaron por varios aspectos a saber: la simplicidad de su configuración, la medición de magnitudes y la lógica bajo la cual funcionaban. Respecto a la simplicidad, en general, esta era la cualidad deseable en términos tanto de su construcción, como de la forma en que se usaba. Es decir, si bien los instrumentos en ocasiones tenían grabados y otros elementos decorativos, la simplicidad radicaba en que disponía de los elementos estrictamente necesarios para medir altitudes angulares de los astros. Y en la medida que se mejoraba su estabilidad y se perfeccionaba la forma de posicionar el astro con el instrumento, mejoraban la precisión de los datos medidos con dicho instrumento. Esto es necesario tenerlo en cuenta si se desea alcanzar cierto grado de precisión en los valores tomados por los estudiantes, lo cual debe ser acorde a sus habilidades, tanto en la construcción del instrumento, como su manejo y los datos obtenidos.

Respecto a la medición de magnitudes, los instrumentos hicieron posible registrar valores entre un grado sexagesimal, hasta alcanzar valores de minuto de arco. Aquí es necesario que el maestro evalúe si es un requisito en el desarrollo de las actividades, medir valores angulares inferiores a la unidad de grado, y hasta qué punto o no, resultan versátiles para los estudiantes en función del instrumento que ellos hayan construido en términos de su tamaño, la rigidez y estabilidad, así como de su habilidad y experiencia para manejar ese tipo de instrumentos. También es necesario tener en cuenta que algunos instrumentos como el gnomon o la regla paraláctica, no ofrecen un valor angular directo, sino que este debe ser calculado con razones trigonométricas. Es necesario que el maestro considere cómo lograr que el estudiante determine esos valores, en función de su nivel educativo. Esto es importante, ya que esos valores se constituyen en el dato a partir del cual el estudiante problematiza y construye explicaciones. De lo contrario, el uso del instrumento se limita a algo anecdótico en términos de que no contribuye significativamente al proceso de modelización, e incluso distrae en ese proceso.

Ahora bien, para que esa información que obtienen se constituya en un dato, que expresa una relación entre cualidad y magnitud, mencionada en el anterior apartado, es necesario que el observador comprenda la lógica bajo la cual se obtiene ese dato, es decir comprender qué es lo que representa. Un error frecuente es asumir que si el estudiante entiende el concepto de ángulo, frecuentemente asociada a la amplitud presente entre dos líneas que convergen, ello bastara para usar un instrumento y medir las alturas de los cuerpos celestes. Aquí es indispensable que el maestro tenga una comprensión básica sobre la forma de determinar la posición de un astro, en términos de que este cuerpo no es accesible y por lo tanto las distancias se miden usando una magnitud espacial que difiere significativamente de las que pueden usar en forma cotidiana los estudiantes. Dicha medición establece la distancia en grados sexagesimales de un cuerpo respecto a unas líneas y puntos de referencia. Es necesario acercar al estudiante a esta idea de posición de un astro, después de lo cual, el maestro puede proporcionar actividades y recursos que ayuden a los estudiantes como sujetos activos, a organizar el fenómeno que estudian.

Lo anterior es requisito previo a la modelación del movimiento del Sol y de la luna. Su importancia radica en esa información, es decir el valor angular de la posición hace posible comparar, intercambiar y validar tanto los registros que hacen como los modelos que construyen. Si bien a cualquier individuo en condiciones normales, le es posible atribuir dimensiones a la posición de un astro, la necesidad de que dichos valores

sean precisos y puedan comunicarse a otros observadores, obliga al uso de un artefacto mediante el cual se atribuye una dimensión estándar a todos los observadores y mediante la cual se agrega exactitud al dato obtenido, lo cual no sería posible en la ausencia del instrumento. Esto es importante en tanto se busca que el dato sea lo más objetivo posible, y por tanto ayuda a los estudiantes a ser objetivos desde su contexto personal y social en las percepciones que se tienen sobre el astro. En definitiva, los modelos descritos en la revisión histórica, no hubieran sido posibles si se hubieran construidos sobre percepciones subjetivas no comunicables en torno al astro estudiado. Es de resaltar que el objetivo de la actividad de observar no puede estar centrado en un instrumento, sino en que el uso de ese instrumento tiene como objetivo extraer información de un objeto, con la cual establecer relaciones entre el objeto, el fenómeno y las imágenes y experiencias del sujeto, y posteriormente realizar un proceso de construcción de relaciones. En palabras de Hanson (1965) “El conocimiento del mundo no es un montaje de piedras, palos, (...), sino un sistema de proposiciones” (p 26).

De lo anterior se encuentra las siguientes consideraciones:

- Es importante tener en cuenta en la observación del Sol y la luna, instrumentos que sean sencillos en su construcción como en su uso, y que facilitan medir la posición de los cuerpos celestes de forma comprensible (CD-oti1).
- Los valores medidos que describen la posición de un cuerpo celeste, deben ser comprensibles y contextualizados, en tanto constituyen el insumo desde el cual se empieza visibilizar y comprender el fenómeno (CD-oti2).
- El valor de medida es importante ya que se constituye en un dato objetivo desde el cual el estudiante construye relaciones, e intercambia, comunica y valida el modelo construido (CD-oti3).

5.3.3. Organización de los datos

Los movimientos de los astros fueron descritos a partir del cambio de posición que experimentaban en un intervalo de tiempo. Aquí se encuentra que el uso de un sistema de referencia desde el cual describir esas posiciones, es importante en tanto ayuda a organizar y representar la posición de los astros observados y explicar sus movimientos. Gracias al instrumento y al sistema de referencia que enmarca los datos obtenidos, fue posible elaborar descripciones de los movimientos a través de las entidades geométricas

usadas en cada modelo (círculos, esfera, excéntricas, elipses). Estas entidades mostraron ser útiles a lo largo de los siglos.

Si bien el instrumento es importante, este por sí solo no es suficiente. Lanciano y Camino (2008) proponen que el instrumento hace parte del proceso de medir. Y en este proceso intervienen los siguientes elementos: el objeto (del cual se desea obtener una magnitud de una cualidad específica), el instrumento y el sistema de comparación o unidad respecto a la cual comparar la magnitud. Para el caso del estudio de cuerpos celestes en movimiento, en este trabajo se considera necesario agregar el sistema de referencias en el cual se ubican dichas magnitudes, así como el dato medido del cuerpo. Estos elementos en conjunto requieren de una serie de pasos en la cual interactúan los diferentes elementos (Lanciano y Camino, 2008) y están en relación con elementos que constituyen la organización mencionada en las consideraciones epistémicas. Retomando esos elementos que ya en este punto dibujan una secuencia, son: identificar la cualidad a observar (posición), construir una magnitud (o usar una ya definida: ángulo – grados sexagesimales), construir un instrumento (o usar uno ya existente) y definir un sistema para organizar la información, que será el sistema de referencia local y/o celeste.

El sistema de referencia es importante en tanto hace posible representar la posición del cuerpo medido como configurar la lógica bajo la cual se usaba y media con el instrumento. En el sistema de referencias locales se ubicaron puntos de referencia que son familiares al observador: el firmamento, su horizonte local y el mismo observador como punto de referencia o la esfera terrestre como punto de referencia central que considera la posibilidad de diferentes observadores. Este sistema es práctico, por el hecho de que se miden cuerpos que no son palpables. Es decir, frente a la imposibilidad de establecer de forma directa una distancia longitudinal entre los astros, demostró ser más eficiente medir la distancia angular entre dichos cuerpos, y con ello establecer sus posiciones relativas y por tanto sus movimientos.

Es necesario tener en cuenta bajo cual sistema se desarrollan las actividades de observación. La revisión histórica visibiliza que el primer referente de ubicación es el sistema de referencias locales, en tanto este es familiar para el observador. Si se desea usar un sistema de referencias ecuatorial, es necesario traducir los datos desde el sistema de referencias local al sistema ecuatorial. Dicha traducción que es de orden matemático (conversión de coordenadas, funciones trigonométricas), exigirá que el maestro conozca

la lógica y forma de organizarse la información en ambos sistemas y el proceso de conversión matemática. También exige que el maestro considere el nivel de pertinencia de abordar el sistema de referencias ecuatoriales, en función del nivel educativo y de las habilidades matemáticas de los estudiantes. Si bien los modelos científicos tienen cierto nivel de complejidad de orden geométrico y matemático, es necesario que el maestro comprenda tanto los aspectos básicos de los modelos científicos, como de los sistemas de referencia usados en el caso de la astronomía. Esto contribuye no solo en la imagen de ciencia que sirve para fundamentar sus propuestas de enseñanza, también influye en la imagen de ciencia que se construye en el aula por los estudiantes, como las actividades que se desarrollan.

De lo anterior se tiene que:

- Los instrumentos usados, así como la forma de organizar los datos obtenidos a través de estos, que describen la posición del astro observado, responden a la lógica de ubicación que designa el sistema de referencias locales, el cual se basa en condiciones de orientación familiares al observador (CD-odd1).
- Es necesario tener un dominio básico de los puntos de referencia que usa el sistema de referencias local (véase anexo 2), como la forma de determinar la posición de un cuerpo en ese sistema (CD-odd2).
- La secuencia lógica para determinar la posición de un cuerpo implica tomar los datos del mismo, ubicarlos en el sistema de referencias local y posteriormente traducirlos a un sistema de referencias ecuatorial o celeste, si es necesario (CD-odd3).

5.4. Síntesis de las consideraciones

A continuación, se presenta un diagrama de las diferentes consideraciones pedagógicas, epistémicas y disciplinares extraídas de los anteriores análisis y reflexiones. En este diagrama, las consideraciones fueron organizadas, según se presentaron en los apartados anteriores. Pero adicionalmente se realizó un cruce entre las diferentes consideraciones, de forma que ayude a identificar diferentes aspectos que emergen de éstas. Con los cuales, se sintetizan las consideraciones extraídas, y con ello se reconocen las diferentes consideraciones que se muestran pertinentes a la vez que guían el diseño de una propuesta de aula como orientación de propuestas de trabajo en el aula.

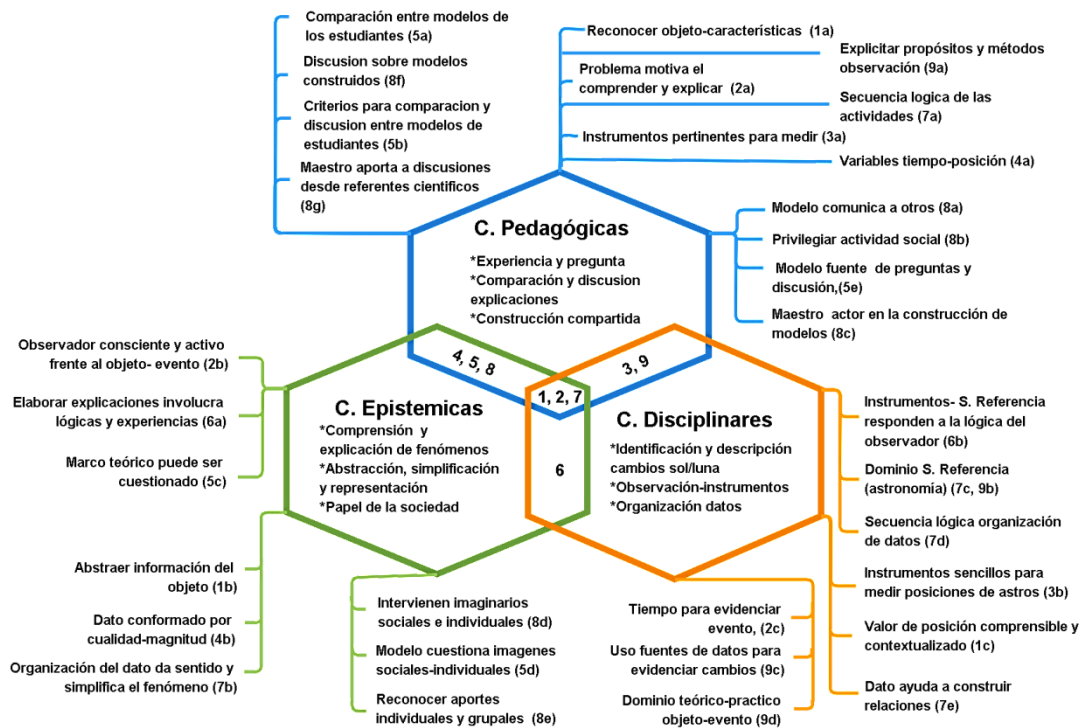


Fig. 45. Diagrama de síntesis de las consideraciones pedagógicas, epistémicas y disciplinares. Fuente: elaboración propia.

Establecer las relaciones que se presentan entre las diferentes consideraciones, permitió identificar nueve aspectos en los que convergen las consideraciones. Estos son, según las numeraciones de la fig. 45.

- Información objeto (números 1 a-c): Disponer de información sobre un objeto (Sol/Luna) de estudio, para comprender, contextualizar y elaborar explicaciones sobre el mismo.
- Problema (números 2 a-c): Se precisa una situación problema al alcance del observador en términos del tiempo requerido para visibilizar un evento (cambios de posición Sol/Luna), que lo movilice a preguntarse por el objeto estudiado y asumir un rol activo frente a ese objeto.
- Instrumentos (3 a y b): Para estudiar ese objeto y obtener información del mismo, se precisa el uso de instrumentos para medir la posición de un astro
- Dato-variable (4 a-b): La información que se obtiene del astro es un dato que describe una cualidad particular del objeto, por medio de una magnitud que le asigna un valor, el cual se constituye en una variable (tiempo/posición) respecto a la cual se busca explicar sus cambios a través del modelo.

- Papel del modelo (5 a-f): El modelo se constituye en un medio para interrogar, comprender, comprender otros modelos (científicos) a su vez que ayudan a cuestionar las imágenes sociales e individuales, en torno a un objeto-evento.
- Experiencia y lógica explicaciones (6 a y b): Tanto los instrumentos, el sistema de referencias para organizar los datos, como las explicaciones elaboradas en torno al comportamiento de un objeto de estudio, se fundamentan en las experiencias y la lógica a la cual acuden los individuos.
- Secuencia de acciones organizadas (7 a-e): La observación de un objeto-evento, en este caso del cambio de posición de Sol/Luna, implica que se realicen unas acciones particulares de forma organizada, coherente y con un hilo conductor, que implica organizar los datos en un sistema de referencias, sobre el que se tiene cierto dominio, es comprensible y contextualizado y en consecuencia permite establecer relaciones.
- Aspecto social en el modelo (8 a-e): La construcción de modelos requiere que se privilegie la actividad social, involucra imaginarios individuales y sociales y por tanto reconoce los aportes individuales y grupales bajo los cuales se construye el modelo y lo hace comunicable a otros.
- Método (9 a-d): La construcción de modelos en torno al Sol/Luna implica unas condiciones que garanticen la elaboración de modelos por parte de los estudiantes, entre ellas hacer explícitos el propósito y forma de observar el astro a estudiar, la necesidad de un sistema de referencias, de datos obtenidos de fuentes terceras y por lo menos por parte del maestro, un dominio teórico-práctico que se adquiere con la experiencia, sobre el objeto-evento estudiado.

5.5. Diseño de la propuesta

Una vez establecidos las consideraciones de orden disciplinar, pedagógico y epistémico, se proceden a organizar estos dentro de una propuesta general para que el maestro pueda orientar, seleccionar, e incluso rediseñar actividades o proponer otras que giren en torno a la elaboración de modelos para describir la posición y movimiento del Sol y la luna. Este diseño está dirigido a los maestros y busca proporcionar elementos de apoyo que le ayude en la selección, rediseño e implementación de actividades, mediante las cuales, los estudiantes se acerquen a la construcción de modelos que describan la posición y el

movimiento del Sol y de la luna. Si bien en el diseño de la propuesta está pensada para que el maestro la aplique en estudiantes de grado cuarto y/o quinto de primaria, es posible ser aplicada para otros grados escolares, teniendo en cuenta que las actividades y recursos sugeridos deben ser ajustados⁴². Es necesario resaltar que este diseño no es prescriptivo, sino que es una propuesta que orienta al maestro. Por lo tanto, es necesario que el maestro estudie en detalle la propuesta, con el fin de que en función de su propia experiencia docente y los objetivos que se ha propuesto en la enseñanza de la Astronomía, determine si las actividades se ajustan a los contextos particulares de los estudiantes, o si necesita ser adaptada. El documento que compila el diseño que a continuación se presenta, se encuentra disponible en una publicación digital, a través del siguiente enlace:

https://issuu.com/oscardcardonal/docs/propuesta_actividades_astronomia

El desarrollo de la propuesta se estructura tomando como base las siguientes fases: identificación y contextualización del problema de estudio, experiencias en torno al objeto de estudio, construcción y materialización de explicaciones y socialización de las explicaciones. Es de resaltar que todas las fases en conjunto, constituyen el proceso de modelización como se mencionó en el apartado de construcción de modelos en la enseñanza de la ciencia (Oliva, 2019), ya que dentro de estas fases, se organizan y orientan las actividades que el maestro puede proponer, como en el caso de este trabajo, en torno a la construcción de modelos. Y ayuda a ofrecer una secuencia de acciones coherente al tener en cuenta las consideraciones extraídas con anterioridad. Por lo tanto, en cada fase se describen las consideraciones que se corresponden con cada una de ellas, y a su vez, están acompañados de algunos recursos que pueden ser puestos en juego en el proceso de construir un modelo.

⁴² El maestro debe estudiar cuidadosamente esta propuesta si desea implementarla en primera infancia, ya que se debe tener en cuenta las características psicomotrices de los estudiantes, Esta propuesta, exige capacidades para reconocer y comunicarse con otros, cierto nivel de dominio de lenguaje escrito, capacidad para comprender y asignar cantidades numéricas, entre otras.

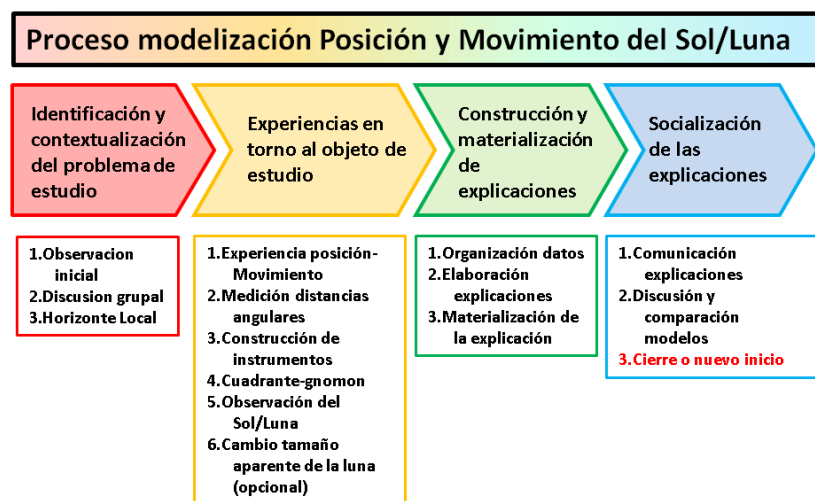


Fig. 46: Secuencia de fases y actividades propuestas para el estudio de la posición y movimiento del Sol/Luna

5.5.1. Fase 1: Identificación y contextualización del problema de estudio

Esta fase tiene como objetivo que el estudiante reconozca el objeto de estudio y el fenómeno del cual se desea comprender, explicar y construir un modelo. En esta propuesta ese objeto es la Luna y/o el Sol, y el fenómeno es la posición y movimiento de dichos cuerpos. Para ello es importante proporcionarle condiciones al estudiante para que reconozca esos objetos, y se plantee preguntas sobre algunas características de estos cuerpos, las cuales, para esta propuesta se centran en torno a la posición y el movimiento. Las consideraciones que aplican para esta fase, son los que se encuentran en la tabla 4.

Tabla 4. Consideraciones Fase 1 Identificación y Contextualización

Consideraciones Pedagógicas	Consideraciones Epistémicas	Consideraciones Disciplinarias
CP-eyp1 Reconocer objeto	CE-cce1 Preocupación por comprender aspectos del objeto estudiado	CD-icd1 Tiempo para evidenciar cambios de posición
CP-eyp2 Plantear problema	CE-cce2 estudiante consciente del fenómeno	

Fuente: elaboración Propia

Actividades Sugeridas

1. Observación inicial: En este momento el maestro dirige la atención de los estudiantes hacia la observación del Sol y de la Luna. En el caso del sol, la observación no puede ser directa, por lo que será una oportunidad para que los estudiantes planteen sus propias

ideas y preguntas sobre cómo observar el sol o una de sus características, teniendo la precaución de evitar acciones de observación directa del sol, en tanto esto pueda causar daño a las estructuras oculares. En el caso de la Luna esta acción no implica problemas. Es posible que se requiera que el maestro asigne como tarea, que los estudiantes observen la luna y describan que observan, sin no es posible hacer esa observación en el momento que están reunidos los estudiantes. El maestro debe guiar la actividad de forma que los estudiantes expresen sus primeras impresiones sobre estos cuerpos celestes, sus recuerdos, vivencias e incluso relatos que conozcan. Se sugiere que el maestro proponga un elemento de registro pertinente al nivel educativo de los estudiantes, en el cual coleccionar esas narraciones que hacen los estudiantes (diario, bitácora, otro), de forma que estén disponibles para futuras sesiones.

2. Discusión Grupal: El maestro puede recurrir a diferentes estrategias de participación de los estudiantes, con el objetivo de favorecer la narración de los estudiantes sobre la anterior actividad, y favorecer la escucha de experiencias de otros. Se sugieren abordar las siguientes preguntas en tanto ayudan a centrar la atención de los estudiantes hacia la posición y movimiento del Sol/Luna como tema de estudio:

- ¿Se mueve el Sol y la Luna en el cielo? ¿Por qué se mueven/no mueven?
- ¿Si no se mueven, es posible que sea yo quien se mueva?
- ¿Cómo sé que un objeto se está moviendo? ¿Cómo sé que movieron algo de mi habitación/casa/aula/maleta?
- ¿De qué me puede servir conocer los cambios de posición que presentan el Sol y la Luna durante el día/noche?
- ¿Esos movimientos tiene algo que ver con el día y la noche?

La discusión se puede realizar en grupos. En cada grupo los estudiantes escriben en sus diarios o bitácoras algunas ideas y respuestas que tengan en torno a las preguntas que el maestro considere relevantes. Y se les solicita elaborar una respuesta conjunta en el grupo, para después ser socializada. En cada socialización, se anima a formular nuevas preguntas en torno a la posición y movimiento del Sol que puedan ser abordadas por los estudiantes.

El maestro debe establecer la cantidad de tiempo que considere necesario, de forma que los estudiantes puedan plantear sus primeras impresiones y ayudar a dirigir la atención a preguntas que inviten a continuar el proceso. Para ello puede solicitar que

escriban las preguntas en un algún tipo de registro que desee manejar el profesor (bitácora, diario, etc.) que correspondan con el problema que surja en torno a la posición y movimiento del Sol/Luna, y condensarlas en unas cuantas preguntas. Incluso se puede continuar con una de las preguntas sugeridas, si los estudiantes consideran que las respuestas elaboradas no ofrecen una respuesta clara para todos.

3. Horizonte Local: Esta actividad consiste en que el estudiante dibuja en una cinta de papel, el entorno que rodea un lugar concreto que el estudiante conoce, bajo la consideración que él se encuentra en el centro. Posteriormente esa cinta de papel se une por sus extremos, haciendo visible el horizonte del estudiante. En ésta cinta, los estudiantes pueden dibujar el horizonte local de sus lugares de vivienda o de la institución educativa o instalaciones en las que se encuentran. Una vez dibujado, el maestro les solicita que demarquen los puntos cardinales y los puntos por donde ellos consideran “sale” y “oculta” el Sol/Luna (véase fig. 47). Posteriormente pueden socializar y comparar sus dibujos con los realizados por sus compañeros, para señalar semejanzas o diferencias, e incluso para que los estudiantes expresen preguntas o ideas que surjan de esta actividad.

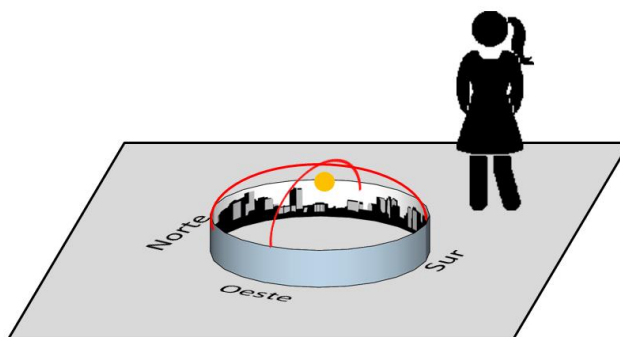


Fig. 47. Horizonte Local. Elaboración propia.

5.5.2. Fase 2: Experiencias en torno al objeto-evento de estudio

En esta fase se busca que los estudiantes adquieran experiencias sobre el evento que se va a modelar, en tanto se le ayuda a delimitar las características que se van a observar. Junto a ello, es pertinente en esta fase establecer la forma en que se va a cuantificar esa cualidad observada y el sistema que se va a usar para representar esos valores. Las consideraciones a tener en cuenta esta fase se encuentran en la tabla 5.

Tabla 5. Consideraciones Fase 2 Experiencias y representaciones en torno al fenómeno

Consideraciones Pedagógicas	Consideraciones Epistémicas	Consideraciones Disciplinarias
CP-eyp3 Proponer instrumentos pertinentes	CE-asr1 Abstraer información de un objeto-situación	CD-idc1 Tiempo para evidenciar cambios de posición
CP-eyp4 Explicitar el propósito de la observación	CE-asr2 Dato conformado por una cualidad-magnitud CE-asr3 Organizar el dato en un sistema de referencia	CD-idc2 Apoyo en otras fuentes de información para evidenciar cambios CD-idc3 Dominio del maestro sobre los cambios observados CD-oti1 Uso de instrumentos sencillos CD-oti2 Valores medidos comprensibles y contextualizados CD-oti3 Valor medido es un dato objetivo importante en el modelo CD-odd1 Los instrumentos siguen la lógica de un sistema de referencias que son familiares al observador CD-odd2 Dominio básico sistema de referencias

Fuente: elaboración propia

Actividades sugeridas

Se sugieren las siguientes preguntas, que pueden ser abordadas por el maestro y los estudiantes de forma previa al desarrollo de las actividades, y que ayuda a centrar la atención en torno al movimiento y posición del Sol y de la luna. La intención es que los estudiantes empiecen a establecer relaciones entre el cambio de posición y el movimiento, como la sucesión de posiciones que presenta un cuerpo durante un intervalo de tiempo.

- ¿Cómo me puedo dar cuenta de que el Sol y la Luna se mueven/no mueven?
- ¿Cómo me doy cuenta de que un objeto se mueve?
- ¿Qué diferencia hay entre la posición y movimiento?
- ¿Qué pasa cuando los objetos cambian de posición? ¿Qué es lo que cambia?
- ¿Qué tengo que hacer para cambiar de posición? ¿Qué es necesario para que un objeto cambie de posición?

- ¿Cómo puedo describir el cambio de posición de un objeto en mi habitación/casa/aula/maleta?

1. Experiencia descripción de posición-movimiento: en esta actividad el maestro ayuda a los estudiantes con la ayuda de una pelota, o un carro de juguete, a evidenciar y describir la diferencia de estados entre un objeto estático y un objeto en movimiento. En un primer momento, el maestro ofrece la oportunidad a los estudiantes de que ellos definan que aspectos tendrían en cuenta para saber que un objeto se mueve o se encuentra estático, acompañado del registro de esas ideas. Dependiendo del nivel educativo y de las vivencias de los estudiantes, pueden ofrecer diferentes soluciones que pueden variar en complejidad.

Posteriormente el maestro les ayuda a identificar y centrar la atención en un punto de referencia, desde el cual se pueda medir la distancia del objeto observado. Respecto a ese punto, que puede ser el vértice pared-suelo o una marca en el suelo, y con la ayuda de los estudiantes pueden describir que sucede con la distancia (si aumenta, disminuye o se mantiene constante) de una pelota en movimiento y de una pelota estática, a medida que pasa el tiempo. En el caso de un carro de juguete, sirve de referencia el borde de una mesa, o un papel con una cuadrícula trazada sobre el mismo. La intención es que los estudiantes adviertan que la distancia aumenta o disminuye, y encuentren que esa distancia sirve para señalar el cambio de posición.

Después de realizada la anterior actividad, se sugieren las siguientes preguntas, para centrar la mirada hacia el Sol/Luna:

- ¿La posición del Sol y la Luna es igual todo el tiempo en el cielo o está cambiando? ¿Por qué cambian/no cambian?
- ¿Cómo puedo saber cuánto cambian/no cambian las posiciones?
- ¿Qué cosa en el entorno, me puede servir como punto de referencia para saber si el Sol/Luna cambian de posición?
- ¿Cómo puedo describir el cambio de posición del Sol y de la Luna, si estos cuerpos no se pueden medir directamente la distancia?

Se recomienda que los estudiantes registren las ideas que les surgen ya que son claves para la siguiente actividad, necesaria para que el estudiante se familiarice con el uso de medias angulares y la observación.

2. Medición de distancias angulares. Para ello se demarca un punto sobre una pared, y una línea de referencia, que puede ser el vértice suelo pared. Después se solicita a los estudiantes que miden la distancia de forma directa entre dicho punto y la línea horizontal de referencia. Después de medir este valor, se pide a los estudiantes que propongan una o varias formas de medir esa distancia u otra, con otro punto que demarque el maestro, pero que no haya sido medido, sin la posibilidad de acercarse a una distancia mínima determinada por el maestro (uno o dos metros de la pared).

Después se procede a medir esa distancia, a partir de líneas de proyección (los estudiantes deben estar retirados de la pared a más de 2 metros), alineando el vértice del suelo con el cero de una regla graduada y verificando en qué otra parte de la escala se observa el punto en la pared. Es necesario registrar varios valores, (mínimo diez) Después se comparan las medidas obtenidas por ellos para hacer notar que sucede con los valores de las medidas longitudinales (valores A y B en la fig. 48 izq.) cuando no hay contacto con el objeto medido.

Posterior a la anterior actividad, se proporcionan a los estudiantes dos reglas articuladas en su extremo, las cuales alinean con las visuales, es decir apuntan con las reglas hacia el punto demarcado en la pared y el vértice suelo-pared o línea horizontal de referencia (fig. 48, der.) Después, se procede a medir el ángulo formado entre las reglas con un transportador de ángulos. Se recomienda registrar varios valores (mínimo diez).

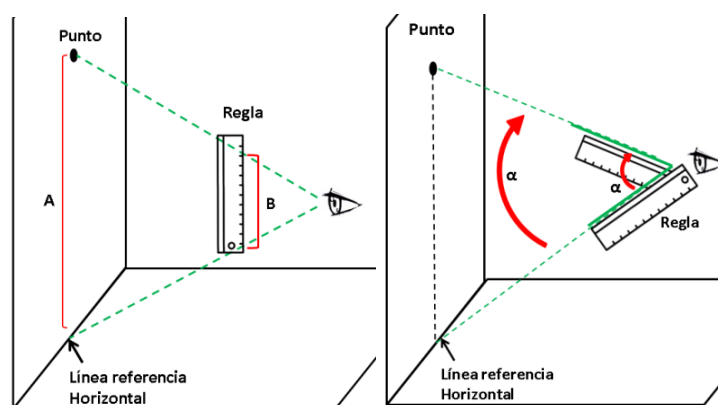


Fig. 48 Actividad distancias Angulares. Izq. la medida longitudinal A difiere de B, al estar el observador retirado de la pared. Der: la media angular α se mantiene constante y sirve para medir distancias de objetos que no están al alcance. Fuente: elaboración propia.

Por último, se solicita a los estudiantes que discutan sobre cual método indirecto (sin medir de forma directa) consideran ellos que es adecuado y preciso. Para ello se

sirven de los datos registrados y el maestro puede sugerir que como criterio, el método más preciso es aquel que ofrezca los valores más cercanos entre sí. Es necesario que el maestro haga notar primero, que en el segundo método (visuales con una sola regla, fig. 48 izq.) que los valores que se miden están en centímetros, pero que estos no coinciden con los medidos de forma directa, por lo cual aunque a partir de las visuales se mida un valor este no coincide con el valor tomado de forma directa. En que en el caso de los astros, no pueden ser medidas sus distancias de forma directa. Por lo cual en la astronomía, la posición de los astros es medida a partir de valores angulares. Frente a esta afirmación, el maestro solicita a los estudiantes que opinión tienen frente a este método⁴³.

3. Construcción de instrumentos: Posterior a ese ejercicio preliminar de familiarizar a los estudiantes con la medición de ángulos, el maestro puede optar por problematizar la construcción de un instrumento, en torno a qué características debería o podría tener un dispositivo que le permita al estudiante medir la posición de un cuerpo celeste, teniendo en cuenta las ideas propuestas por ellos, como las actividades realizadas en la actividad anterior y los aspectos que hizo notar el maestro, entre ellos, que los objetos celestes al estar distantes, no están al alcance de la experiencia de tocarlos y medirlos como se haría habitualmente con otros objetos del entorno. En ese sentido, la actividad privilegia que los estudiantes planteen ideas de cómo medir las posiciones de Sol/Luna. Es necesario tener en cuenta que en el caso del Sol, no es posible realizar la observación de forma directa, por el daño que puede ocasionar la radiación emitida por este cuerpo en las estructuras oculares. Y por tanto, el instrumento para observar el Sol está limitado por esa condición, es decir no deben realizarse observaciones directas del Sol, ni por medio de espejos. Si bien se pueden usar los elementos usados en la actividad anterior (reglas, transportador), si el maestro lo considera necesario puede ofrecer otros materiales. Una pauta que puede ayudar a los estudiantes a proponer sus instrumentos, es señalar que se necesita definir los siguientes aspectos:

- Determinar desde que punto de referencia medir la distancia hacia el Sol/Luna.

⁴³ Existe la posibilidad que este método le arroje a los estudiantes diferentes valores. El maestro puede sugerir que los estudiantes midan el ángulo que se forma entre la línea visual al punto y la visual al vértice o línea de referencia, siempre estando ubicados en el mismo sitio de la locación.

- Seleccionar una magnitud para medir esa distancia (es necesario que el maestro resalte que las magnitudes longitudinales, no describen de forma acertada la real distancia)
- Establecer un elemento del instrumento (punta, línea, punto, agujero, etc.) sirve para marcar o señalar el punto de referencia y el objeto a medir.
- Definir una escala de magnitudes, su forma y como en esta se ubican los marcadores o señaladores.
- Definir como se desplaza el marcador o señalador en la escala construida.

Si el maestro considera necesario, puede agregar otros criterios, como la forma en que se sostienen el instrumento, de que material se debe elaborar, o que recursos disponibles permiten ser utilizados.

4. Cuadrante-gnomon: Como segunda opción alterna a la anteriormente descrita o que puede realizarse después de la anterior actividad, se puede presentar el cuadrante y el gnomon. En este punto es necesario recordar que el papel del instrumento es ayudar a medir de forma objetiva y más precisa que los sentidos, las magnitudes que se atribuyen a una característica, en este caso la distancia del astro respecto de un punto de referencia. Es de señalar que el cuadrante mide ángulos de forma directa, y por tanto es apto para medir la altura de la Luna y de las estrellas, en tanto que el gnomon, es usado para medir de forma indirecta la inclinación del Sol. Una ventaja que añade el gnomon, es que puede registrarse en una hoja el extremo de la sombra, durante un intervalo de tiempo, y dicho registro se puede comparar con otras observaciones realizadas semanas o meses posteriores (véase fig. 49).



Fig. 49 Gnomon. Izq. Detalle general. Der: detalle del registro del extremo de la sombra. Los datos registrados corresponden a la hora local. Fuente: elaboración propia.

Si el maestro desea, también se puede usar el zócalo de Ptolomeo, que mide valores angulares en forma directa a partir de la sombra proyectada sobre un cuadrante ya

trazado en una de las caras del bloque o elemento plano. Para que este señale de forma correcta la inclinación del sol, es necesario que el plano de la cara en la que está el cuadrante, apunte hacia el sol (véase fig. 50).

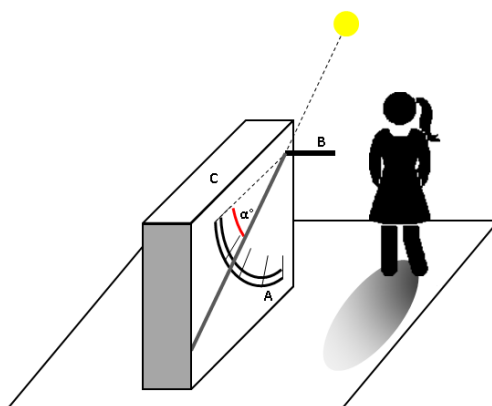


Fig. 50 Zócalo de Ptolomeo. Fuente: elaboración Propia.

La construcción de estos elementos es sencilla, sin embargo se debe procurar el uso de materiales rígidos, que no se deformen. En el caso del cuadrante, este puede ser construido con dos capas de cartón corrugado, lo cual le proporciona solidez al instrumento. Y a este se agrega una plantilla, que puede ser impresa y posteriormente adherida a una cara del cartón (véase fig.51). En el caso del gnomon, se requiere una base sólida (madera o cartón corrugado) y un elemento que haga las veces del estilete (palillo, varita de balsa, etc.). Y se debe demarcar una zona, para que la posición y orientación del instrumento sea constante si se realizan dos o más observaciones en diferentes días. Una vez posicionado el gnomon, y colocada en su base una hoja de papel, la cual puede estar en blanco o tener dibujado o impreso una escala de transportador, en cuyo centro debe encontrarse el estilete que hace de gnomon. Se procede a demarcar el extremo de la sombra con un punto, a intervalos de dos, cinco, diez o quince minutos⁴⁴. En el caso del cuadrante, los estudiantes pueden realizar la práctica de observar una nube, registrar el ángulo de esta, en los anteriores intervalos, de forma que puedan practicar su uso, y posteriormente realizar la observación por ellos mismo de la luna.

⁴⁴ Para calcular la altura del sol en grados sexagesimales α , se mide la altura del estilete Ae y la longitud de la sombra Ls . Después se usa la función arco tangente (\tan^{-1}) de la siguiente forma: $\alpha = \tan^{-1}(Ae/Ls)$.

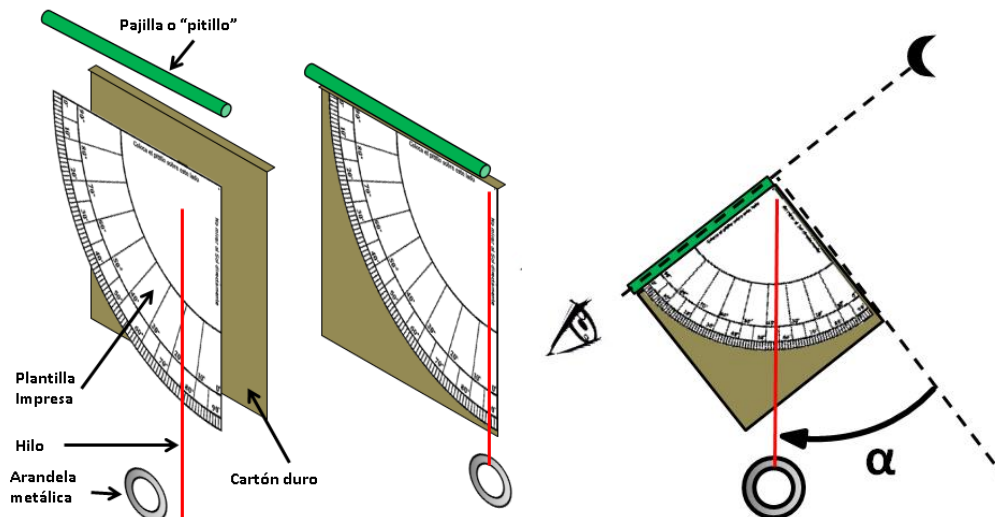


Fig. 51 Construcción y uso de un cuadrante. Izq.: materiales; centro cuadrante construido; der: forma de uso de un cuadrante. El ángulo α corresponde a la altura del objeto observado. Fuente: elaboración propia. Plantilla cuadrante: Cano, 2009.

p. 7.

5. Observación del Sol y de la luna: Esta actividad es vital en el proceso de modelación, ya que la posterior construcción depende de los datos recogidos por los estudiantes. Si es reemplazada, el maestro debe considerar que los estudiantes deben tener acceso a otros datos de posición, que les resulten comprensibles y tenga sentido para ellos, de lo contrario, difícilmente establecerán relaciones desde las cuales puedan construir explicaciones con sentido para ellos, según lo considerado.

La actividad de observación del Sol como de la Luna, aquí propuesta se centra en el registro de datos de posición. Para ellos es importante que los estudiantes cuenten con un medio de registro (que puede ser un espacio dentro de la bitácora, diario, notas, etc.), en el cual compilan los datos en una tabla para posteriormente organizarlos. En la tabla 6 se registran dos datos básicos: tiempo y posición⁴⁵. Puede solicitar que los estudiantes elaboren registros a intervalos de diez o quince minutos por dos horas, o de 30 minutos por cuatro horas, o el tiempo que considere pertinente el maestro, en función de la disposición de tiempo que tienen los estudiantes en clase o en casa.

⁴⁵ La posición que se registra es la altura del astro sobre el horizonte. Otro dato que permite determinar la posición es el acimut, pero esta requiere identificar el norte geográfico de forma preliminar. Para determinar el norte geográfico, se usa el método de sombras iguales, que se encuentra en el Anexo 3.

Tabla 6: registro altura del Sol/Luna por hora

Nombre Estudiante:	Fecha:	Astro:
Hora:	Altura sobre el horizonte	

Elaboración Propia

A su vez, se pueden elaborar registros de posición por cada día para el caso de la luna, o cada semana o mes para el caso del Sol. Con los registros dentro de un margen de una, dos o más horas, se puede dar cuenta del cambio de posición diario (véase fig. 52), y con el registro de varios días a la misma hora (tabla 7) se puede evidenciar el cambio de posición sidéreo para el caso de la Luna o una fracción del movimiento anual en el caso del Sol.

Tabla 7: registro altura Sol/Luna por fecha a la misma hora

Nombre Estudiante:	Astro:
Fecha:	Hora observación regular: (ej. 7:00 pm)
Altura sobre el horizonte	

Fuente: elaboración Propia

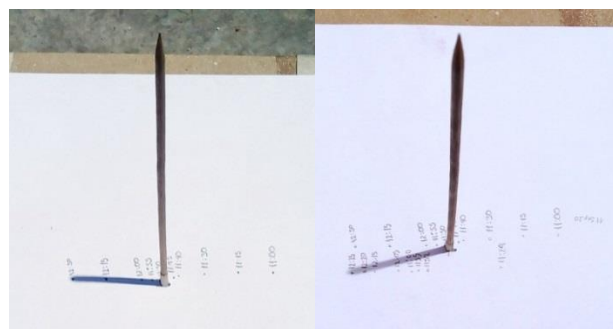


Fig. 52 Registro de la sombra del Sol el 11 septiembre de 2020 (izq.) y el 20 de septiembre de 2020 (der) a la misma hora. En el lapso de nueve días, se pueden observar cambios en la posición de la sombra proyectada por el Sol. Fuente: elaboración propia

También es importante y si es posible, elaborar registros de posiciones cuando la Luna y el Sol son visibles en el cielo al mismo tiempo, lo cual los estudiantes pueden

hacer de camino a la institución educativa o en sus lugares de residencia durante el amanecer o el atardecer, de forma que los datos que recopilen puedan ser usados posteriormente por los estudiantes como una situación que deben tener en cuenta para elaborar sus modelos.

6. Cambio tamaño aparente de la luna: esta actividad complementaria, busca determinar el cambio del tamaño aparente de la luna. Para ello se necesita realizar el trazado de la forma de la luna, sobre un medio físico transparente (acetato, plástico, celofán, otro), que se interpone entre la visual del observador y la Luna (fig. 53). Esta actividad requiere ser realizada durante varios días (se recomienda 14 días), durante el tiempo orbital de la luna (27 días). A la forma trazada, que en ocasiones corresponde a diferentes fases, es necesario completar la circunferencia. O mejor aún, se puede elaborar el trazado solamente durante las fases de Luna llena (pero esta actividad requiere de varios meses). Después se comparan los tamaños registrados para determinar si está presente el cambio de tamaño aparente de la luna. Es de recordar que esta diferencia de tamaño, si es establecida de forma precisa, sirve para señalar que la Luna está más cerca o lejos de la Tierra.

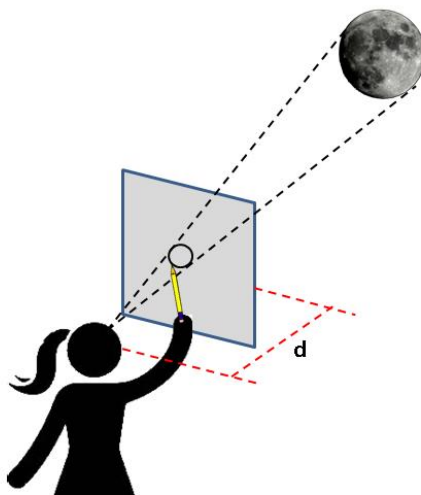


Fig. 53 Actividad para dibujar el tamaño aparente de la luna. La distancia d debe mantenerse constante en todas las observaciones. Fuente: elaboración propia.

5.5.3. Fase 3: Construcción y materialización de las explicaciones

En esta fase, se proceden a organizar la información y a formular explicaciones con base en los datos obtenidos a través de la observación. Se debe buscar que los productos elaborados por una parte integren las preguntas, narraciones y respuestas de sesiones

anteriores y por otro lado, no solo describan, sino también predigan cambios futuros en las variables observadas (posiciones). Las consideraciones que guían esta fase se encuentran en la tabla 8.

Tabla 8 Consideraciones Fase 3: Construcción del modelo

Consideraciones Pedagógicas	Consideraciones Epistémicas	Consideraciones Disciplinarias
CP-eyp5 Organizar el registro en una secuencia lógica	CE-cce4 Marco teórico puede ser cuestionado	CD-oti2 Valores medidos comprensibles y contextualizados
CP-eyp6 Los modelos explican el movimiento del Sol/Luna con las variables tiempo/posición	CE-asr4 La representación de un objeto está ligada a la cualidad observada del objeto	CD-oti3 Valor medido es un dato objetivo importante en el modelo
CP-cde1 Comparación entre los modelos de los estudiantes para evidenciar interrogantes, interpretaciones y explicaciones	CE-psm1 Modelos construidos bajo imaginarios individuales y sociales	CD-odd3 Necesidad de traducir datos de sistema ref. local a ecuatorial (depende de la actividad)
CP-cde2 Discusión sobre modelos enriquece/identificar aspectos representaciones de los estudiantes	CE-psm2 Modelo cuestiona la imagen social e individual	
CP-mcc1 El modelo ayuda a comunicar explicaciones	CE-psm3 Reconocer el papel de los aportes individuales y colectivos en el modelo	
CP-mcc2 La construcción del modelo privilegia la actividad social		

Fuente: elaboración Propia

Actividades sugeridas

La intención es proponer en forma inicial, unas formas de organizar los datos, que ayude a los estudiantes a visualizarlos y desde el cual, puedan incorporar sus experiencias y saberes adquiridos en las fases anteriores o que ya poseían de forma previa, y las cuales describieron en la fase 1. Estos elementos en conjunto harán parte de la construcción de un modelo que dé cuenta del movimiento del Sol/Luna a partir de los cambios de posición observados, y que por tanto visibilice el tiempo y la posición registrados.

Para esta fase los datos pueden ser expresados en las coordenadas del sistema local de referencia (altura-acimut) o usando el sistema de referencias ecuatoriales (ascensión-declinación). Se recomienda al maestro usar el sistema de referencias locales, en tanto este es más intuitivo para un observador, mientras que el sistema de coordenadas

ecuatorial, puede presentar cierto grado de dificultad en su comprensión, a lo cual el maestro debe evaluar su pertinencia en función de las habilidades de los estudiantes y su nivel educativo. E incluso si desarrolla dichas actividades una tras otra, o puede desarrollar la segunda actividad (organización desde el sistema de coordenadas ecuatoriales) en un momento posterior a la puesta a prueba de los modelos.

Otra consideración a tener en cuenta, es si se representan los datos tanto del Sol como de la Luna en la misma actividad o en actividades separadas, decisión que debe tomar el maestro en función de los factores ya mencionados.

1. Organización visual de los datos en el horizonte local: en esta fase, los estudiantes representan los datos obtenidos, sobre una media esfera (o semiesfera) que representa la bóveda celeste del observador local, en este caso de los estudiantes. Esta esfera puede ser construida para ese propósito, o puede obtenerse de otro elemento sólido y de ser posible transparente (pelota plástica transparente, acetato, etc.). En su defecto se puede usar otro material (esfera de poliestireno expandido “icopor”, pelota plástica, etc.). Sobre esta semiesfera se realiza el trazado de líneas que corresponden a la altitud y al acimut. Ya realizado el trazado, que corresponde con el sistema de referencias locales, los estudiantes señalan con puntos (u otras formas de representación: iconos del Sol/Luna muy pequeños, “x”, etc.) los por los que sale y se pone el sol (este- oeste), los cuales unen con una línea y sobre esta demarcan las diferentes posiciones consignadas del Sol/Luna (véase fig. 54).

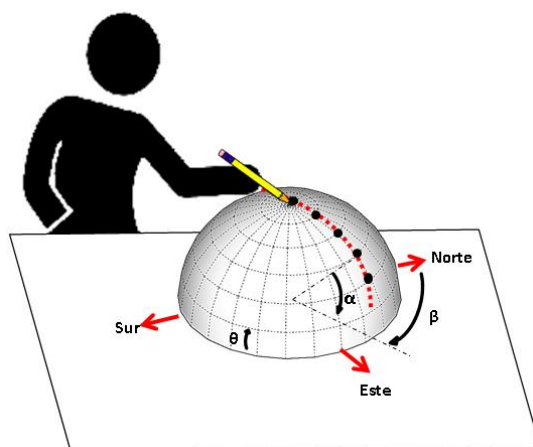


Fig. 54. Organización de los datos. La línea roja representa el trayecto demarcado previamente. α corresponde al valor de altitud medido; β corresponde al valor de acimut. θ es el ángulo de espaciado que se traza en la esfera. Puede ser de 15° o para mayor precisión, 10° . Fuente: elaboración propia

Demarcados los puntos, los estudiantes pueden unirlos con un trazo, que señale la trayectoria del cuerpo. El punto marcado por los estudiantes como punto de salida (orto) u ocaso (puesta) del Sol/Luna, junto a la trayectoria dibujada por ellos puede ser comparado con las observaciones realizadas por los estudiantes en el horizonte local realizado en la fase 1. Incluso si es posible, el maestro puede presentar la trayectoria que describe un software de simulación (Stellarium, SkyMap) y compararlo con los datos de los estudiantes. Es necesario tener en cuenta que se debe socializar a los estudiantes que elementos representan esos simuladores para que se orienten y comprendan su uso y lo que se representa en dicho simulador.

2. Elaboración de explicaciones: esta actividad está centrada en que los estudiantes elaboren sus propias explicaciones sobre la posición y movimiento del Sol/Luna. Las preguntas sobre las cuales los estudiantes ofrecen explicaciones, por una parte son las que se han formulado ellos mismos, las que se han formulado en las fases anteriores por el maestro (relacionadas con el Sol/Luna), junto a las que guían y ayudan a centrar esta actividad, las cuales son:

- ¿Cómo tendría que ser la trayectoria del Sol/ Luna o de la tierra para poder explicar los cambios de posición observados con el instrumento para cada uno de los astros?
- ¿Cómo puedo explicar que en unas ocasiones podamos ver la Luna durante el día cuando el Sol ya está en el cielo (al amanecer o al atardecer), mientras en otras ocasiones solo se ve la Luna en la noche?

Puede suceder que sean muchas las preguntas que ya tengan registradas los estudiantes. Un criterio que puede proponer el maestro para agrupar o seleccionar esas preguntas, es que estén relacionadas con el cambio de posiciones del Sol/Luna. Respecto a la segunda pregunta puede ser necesario que el maestro presente recursos visuales (imágenes, videos) para mostrarles a los estudiantes la visibilidad de la Luna durante el amanecer o el atardecer, en caso de que esto no haya sido posible.

Es fundamental que los estudiantes expongan, argumenten, discutan y acuerden las explicaciones que respondan a la anterior pregunta y que ellos consideran pertinente. El maestro puede escoger, adaptar y regular cualquier método grupal que considere apropiado para ello: lluvia de ideas, método SCAMPER, seis sombreros, etc. Y debe acompañar la actividad, revisando las ideas, proponiendo otras preguntas, ofreciendo apoyo y otras fuentes de información. Una condición importante, es que las explicaciones y soluciones elaboradas por los estudiantes, ofrezcan descripciones en términos de reglas o enunciados que señalen y relacionen las variables de tiempo y posición de los diferentes cuerpos para que den cuenta de las posiciones registradas en la semiesfera de la fase anterior. En este punto es necesario que esas descripciones deben incluir elementos geométricos y numéricos acordes al nivel educativo de los estudiantes, por ejemplo, la forma de la trayectoria u órbita (formas geométricas), la cantidad de giros o ángulo recorrido de un cuerpo respecto a otro (cantidades numéricas), etc.

Muy importante que en este punto, el maestro proceda a identificar algunos aspectos que son visibles de las representaciones que configuran los estudiantes, entre ellas los términos que usan, las explicaciones que ofrecen, las imágenes y diagramas, los elementos geométricos que usan en esos dibujos, la forma en que organizan los elementos del dibujo, como las ideas en sus explicaciones y como se integran estos, junto a otros que considere necesario el maestro tener en cuenta. Esto es importante en tanto le permiten identificar el nivel de comprensión de los estudiantes y en coherencia con eso, seleccionar posteriormente los referentes teóricos de los modelos astronómicos, desde los cuales puede orientar futuras discusiones.

Es necesario resaltar, que en esta actividad, el maestro y los estudiantes pueden estar asumiendo la esfericidad de la Tierra, y posiblemente el orden heliocéntrico del Sol, Tierra y Luna. Por lo que si la esfericidad como el heliocentrismo (o geocentrismo) es

objeto de cuestión por algún participante, el maestro debe plantear otras actividades que les ayude a los estudiantes a resolver esas inquietudes. Lo mismo puede suceder para el movimiento terrestre. Frente a esto, es importante que el maestro diseñe actividades a partir de la información descrita en la revisión histórica presentada en un capítulo anterior que les ayude a los estudiantes a resolver esas inquietudes. Estas actividades deben ofrecer la oportunidad a los estudiantes de construir un modelo a partir de la inmovilidad de la Tierra, para su posterior prueba.

3. Materialización de la explicación: En este momento, se deben proporcionar diferentes elementos materiales con los cuales los estudiantes materializa algunos aspectos de las explicaciones que ellos construyen en un soporte físico ya sea bidimensional o tridimensional. Este soporte le ayuda al estudiante a comunicar las explicaciones construidas, las relaciones que establecen entre las variables, y como mediante esas relaciones, describir la posición del Sol/Luna en el tiempo. Es de anotar que los materiales y herramientas deben estar acorde a las habilidades de los estudiantes, su nivel educativo, y sus condiciones socioeconómicas (acceso y disponibilidad de los materiales, seguridad en el manejo de herramientas, otros).



Fig. 55 Posibilidades de productos elaborados. Izq.: modelos estático. Centro modelo móvil. Der: modelo topo céntrico. Tomado de Colegio Santa María Reina, 2018 (izq.); epicfantasy, 2016 (centro); Aula de Astronomía de Fuentelabrada, 2016 (izq.).

Una alternativa que puede ser interesante, que puede estar o no asociada a los modelos estáticos (maquetas bidimensionales o tridimensionales, fig. 55 izq.), puede ser que los estudiantes elaboren mecanismos móviles que den cuenta de las relaciones que ellos encontraron sobre el cambio de posición del Sol/Luna (fig. 55 centro) o maquetas con partes móviles (fig. 55, der.). Otra posibilidad es que los estudiantes elaboren frisos, u otro tipo de organizador en los cuales presenten diagramas o esquemas que representen los elementos que intervienen en su explicación, construyan algún tipo de narración

(historieta, cuento), e incluso pueden desarrollar un juego o un conjunto de acciones interactivas que permitan participar a otros.

5.5.4. Fase 4: Socialización de las explicaciones

Esta fase tiene como objetivo que los estudiantes comuniquen a través de los materiales físicos, las explicaciones construidas y sometan el modelo (entendido en este punto como el conjunto de explicaciones, relaciones, estructuras que organizan dichas relaciones, productos, entre otros) a prueba y validación tanto por sus compañeros, como a través de su contrastación con los modelos científicos. Las consideraciones que guían esta fase se encuentran en la tabla 9.

Tabla 9 Consideraciones Fase 4: Socialización y validación del modelo

Consideraciones Pedagógicas	Consideraciones Epistémicas	Consideraciones Disciplinarias
CP-eyp6 Modelos explican el movimiento usando variables tiempo y posición.	CE-psm2 Modelo cuestiona la imagen social e individual	CD-idc2 Apoyo en otras fuentes de información para evidenciar cambios
CP-cde2 Discusión sobre modelos enriquece las representaciones de los estudiantes	CE-psm3 Reconocer el papel de los aportes individuales y colectivos en el modelo	CD-idc3 Dominio del maestro sobre los cambios observados
CP-cde3 maestro aporta criterios para orientar discusiones		CD-odd2 Dominio básico sistema de referencias
CP-mcc1 El modelo comunica explicaciones a otros		
CP-mcc2 La construcción del modelo privilegia la actividad social		
CP-mcc3 Los modelos deben ser socializados y discutidos		
CP-mcc4 Papel del maestro como fuente de información y actor		

Fuente: elaboración propia.

Actividades sugeridas.

El objetivo de las actividades es que se proporcionen espacios para la comunicación de los modelos elaborados, y la discusión reflexiva y crítica entre los estudiantes y el maestro de dichos modelos. Aquí el maestro juega un papel importante, en tanto actúa como moderador de las intervenciones, así como ayuda a guiar y centrar las discusiones y

preguntas hacia la construcción de explicaciones en torno a la posición y movimiento del Sol y de la luna.

1. Comunicación explicaciones: En este momento es importante propiciar espacios que favorezcan que los estudiantes comuniquen sus modelos e intercambien posturas con sus pares. Las preguntas sugeridas que guían esta actividad son:

- ¿Qué preguntas responde el modelo de mi grupo?
- ¿Qué limitaciones tiene el modelo de mi grupo?

Las diferentes estrategias propuestas para comunicar los modelos elaborados son las siguientes:

- FERIA de ciencias: los estudiantes organizados en grupos pequeños, exponen sus productos en un espacio (cubículo de exhibición) dentro del aula, o en un espacio exterior a esta, para interactuar con los compañeros, o con público exterior al grupo de clase, semillero o club. En esta actividad se recomienda que los estudiantes expongan sus explicaciones, recojan las preguntas, comentarios y sugerencias que formule el público frente al cual expuso (compañeros o público exterior), para su posterior discusión dentro del aula.
- Exposición-entrevista: Los grupos preparan preguntas sobre lo que esperan encontrar en los modelos elaborados por otros grupos. Posteriormente cada grupo organiza dentro del aula los productos y materiales de apoyo, y expone uno a la vez su proceso y resultados. Después de la exposición, los demás estudiantes, participan con moderación del grupo expositor o del maestro, en términos de preguntas, comentarios y sugerencias.
- Expo-Concurso: Cada uno de los grupos planean el desarrollo de un pequeño concurso que tiene la intención de mostrar a otros participantes, como el modelo elaborado por cada grupo, explica el cambio en la posición y movimiento del Sol/Luna y como ayuda a predecir futuras posiciones. Esta consiste en una pequeña demostración apoyada en los materiales contruidos. Después de la demostración los grupos formulan preguntas a los participantes a quienes se demuestra el modelo. Si es necesario, una mitad de los grupos realiza sus exposiciones y preguntas, mientras la otra mitad participa de ellos, repartidos en cada grupo expositor. Si se desea, los grupos pueden asignar y contabilizar los puntos por respuesta correcta, que permitiría evaluar el modelo expuesto, en

términos de si fue comprensible (en ese grupo expositor, si el modelo fue claro, los participantes ganaron más puntos) para otros estudiantes.

Es importante que en cada una de las anteriores estrategias, los estudiantes usen los productos construidos, así como productos de actividades anteriores, incluyendo los registros, los instrumentos, la semiesfera, entre otros que puedan surgir, con el fin de comunicar y dar cuenta del proceso que los llevo a elaborar las explicaciones y recursos que las soportan. Estos elementos contribuyen en que los estudiantes puedan apoyarse en un elemento físico y visual que les ayuda a recordar y tener confianza en el proceso que desarrollaron.

2. Discusión y comparación de los modelos de los estudiantes: en este momento, la intención es que los grupos discutan sobre los aportes hechos por ellos mismos y por los compañeros de otros grupos. También y muy importante que distingan los factores que tuvieron en cuenta otros grupos para elaborar el modelo expuesto. Las preguntas que pueden ayudar a los estudiantes a reflexionar sobre sus aportes son:

- ¿Qué preguntas responden el modelo de mis compañeros, y no responden el de mi grupo?
- ¿Qué explicaciones ofrece el modelo elaborado por mi grupo? ¿Qué explicaciones ofrece el modelo elaborado por los compañeros?
- ¿Qué limitaciones presenta el modelo de mi grupo?
- ¿Qué limitaciones presenta el modelo de mis compañeros?
- ¿Qué elementos del modelo de mi grupo mejoran el modelo elaborado por otros?
- ¿Qué elementos de otros modelos pueden mejorar el modelo de mi grupo?

En esta actividad se recomienda que el maestro esté atento en centrar la atención en los modelos y lo logrado con ellos, para regular las interpretaciones personales de los estudiantes que pueden interferir con el proceso, propendiendo en todo momento por la escucha y la argumentación basada en los datos. Aquí el maestro tiene la oportunidad de exponer a los estudiantes a través de una de las estrategias anteriormente mencionadas, los aspectos que considere relevantes y pertinentes para que los estudiantes en términos de su nivel educativo, comparen y discutan sus explicaciones con las que ofrecen los modelos de otros estudiantes y las que ofrecen los modelos científicos sobre el

movimiento de los astros. Algunos de los criterios bajo los cuales el maestro puede orientar esas discusiones son las siguientes:

- preguntas que responden los modelos de los estudiantes y que responden los modelos científicos
- las explicaciones que ofrecen los estudiantes y los antiguos astrónomos
- las descripciones que se dan sobre el movimiento de Sol/Luna
- los instrumentos utilizados
- las creencias de los estudiantes y las de los astrónomos en la época en que se elaboró un modelo científico específico
- las limitaciones de las explicaciones de los modelos de los estudiantes y de los modelos científicos

El maestro debe tener en cuenta que el desarrollo de cada aspecto puede demandar una considerable cantidad de tiempo, por lo cual tendrá que tomar decisiones respecto a que criterios son adecuados para abordar, no en términos de que sea más rápido de desarrollar, sino en términos de cual ayuda a enriquecer las discusiones. Si el maestro desea puede precisar otro criterio que no esté descrito en este trabajo.

3. Cierre: Este momento tiene por objeto que el maestro elabore un cierre de la actividad, a partir de las reflexiones que consideren relevantes los estudiantes, sus experiencias, expectativas, hallazgos, aciertos y desaciertos. Si lo desea el maestro y si es posible, en este momento puede centrar la mirada hacia alguna temática relacionada (fases de la luna, eclipses, sistema solar y sus características, etc.) o preferiblemente que haya surgido de los modelos, que sea de interés para los estudiantes, y del cual han surgido preguntas que no se contestaron.

5.5.5. Un posible nuevo punto de partida

El desarrollo de la anterior propuesta, junto con las actividades sugeridas, ofrece la posibilidad al maestro una vez concluida, girar la mirada hacia otras preguntas:

- ¿Cómo tendría que ser mi respuesta o explicación, de forma que considere lo que otras personas en otras partes de la Tierra observan?
- ¿Cuáles deberían ser las posiciones del Sol, de la Luna y de la Tierra para que se vean el cambio de fases de la Luna?

- ¿Cómo debería ser la trayectoria de la Luna/Tierra, para que solo en contadas ocasiones se puedan observar eclipses? ¿Por qué los eclipses no son frecuentes?

A continuación se describe las generalidades de una segunda secuencia de fases que puedan continuar en torno a la primera pregunta del anterior listado. es de anotar que esa descripción es general y no detallada , las posibles actividades que se pueden desarrollar por cada fase las posibles actividades, por lo cual el lector no encontrara una descripción detallada de cada actividad. Respecto a las consideraciones pedagógicas, epistémicas y disciplinares, aplican en cada fase las mismas que ya fueron descritas en la anterior propuesta, quedando a criterio del maestro si decide cambiar o proponer una nueva actividad, acorde a los criterios expuestos.

Fase 1 Identificación y contextualización del problema de estudio: Si se toma la primera pregunta *¿Cómo tendría que ser mi respuesta o explicación, de forma que considere lo que otras personas en otras partes de la Tierra observan?* como punto de partida, las actividades pueden estar centradas en revisar, analizar e incluso cuestionar la forma en que otras personas ubicadas en diferentes partes, pueden observar el cambio de posiciones del Sol/Luna. Serian pertinente preguntarse por si todos los observadores verían las mismas inclinaciones. A lo anterior se puede sumar el hecho de considerar que diferentes observadores se encuentran en diferentes puntos de la esfera terrestre, y lo que ello implica. En este punto seria relevante plantear actividades que propicien que los estudiantes realicen actividades de observación y expresen y discutan sus ideas e imágenes en torno a diferentes observadores ubicados en diferentes ciudades, por ejemplo en una ciudad ubicada en el continente europeo y otra en el sur del continente americano. Preguntas que pueden orientar las actividades

- ¿Una persona ubicada en otra parte de la Tierra, vería el mismo movimiento que veo yo? ¿Por qué?
- ¿Una persona ubicada en otra parte de la Tierra, vería y registraría las mismas posiciones (altura respecto al horizonte) que yo registré? ¿Por qué?
- ¿Tiene algún efecto en lo que veo yo y una persona ubicada en otra parte de la Tierra, la curvatura de la Tierra?

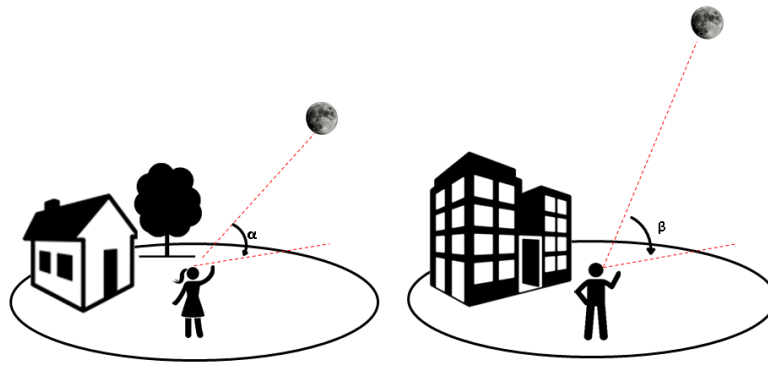


Fig. 56. Ejemplo de situación a discutir, sobre dos observadores en diferentes locaciones, en el mismo margen de tiempo. Fuente: elaboración propia.

Fase 2 Experiencias y representaciones en torno al fenómeno: en esta fase se procura que los estudiantes realicen actividades de observación y registro desde las cuales problematicen las anteriores preguntas. Una primera actividad sugerida es el uso de un globo terráqueo, en el cual se coloca una pequeña varita (ambos en posición perpendicular respecto al globo terráqueo) que represente un gnomon ubicado en la locación de los estudiantes. Y en otra parte del globo terráqueo, se coloca otra varita en otra locación. Esta pieza se lleva a una zona iluminada por el Sol, o iluminado por una lámpara que haga las veces del Sol. Posteriormente se llama la atención a las diferencias que se presentan en las sombras proyectadas sobre el globo por las varitas.



Fig. 57 Colocación de dos estiletes en diferentes locaciones de un globo terráqueo. Se procura que un gnomon no tenga sombra (der) mientras se observa el gnomon ubicado en otra parte, y viceversa. Fuente: elaboración propia.

A la anterior actividad se puede agregar otra en la que se obtienen y representan información y narraciones (si esto último es posible) desde otro punto de la Tierra, procurando establecer contacto con otro grupo escolar, club o semillero de otra parte. En su defecto se puede acudir a un simulador (Stellarium, SkyEye, etc.) para la obtención de

datos de posiciones celestes de otro lugar en la Tierra. Dichos datos se representan en semiesfera, igual como se propuso en una actividad anterior (véase fig. 54). Y se puede abrir un espacio para que los estudiantes discutan sobre sus apreciaciones, expresen las preguntas que les surgen de esas diferencias que se observan en las posiciones, y propongan explicaciones a esas diferencias que se encuentran.

Fase 3 Construcción del modelo: En esta fase igual que en la anterior secuencia, se procuran las condiciones y recursos para que los estudiantes reelaboren los modelos elaborados en la primera secuencia de fases. Para ello se puede optar por que los estudiantes modifiquen los productos elaborados, o si es posible, elaboren nuevos productos, que les ayude a establecer las diferencias y cambios necesarios respecto al anterior modelo construido. Se debe tener en cuenta, que los productos elaborados no se limitan a describir las posiciones en un sentido estático, como es habitual en las representaciones bidimensionales y tridimensionales, sino que también señalan posiciones en el tiempo (pasado, presente y futuro) y siguiendo esquemas de orden matemático y geométrico que corresponden con el nivel educativo de los estudiantes.

Una actividad a considerar antes de la construcción del modelo, es tomar la semiesfera en la que se registró el cambio de posiciones del Sol/Luna desde otro lugar (semiesfera B, fig. 58) y ubicarla en la posición del lugar que le corresponde (según la latitud y longitud de la locación) sobre una esfera más grande que hace las veces de la Tierra. Y también ubicar la semiesfera de posiciones locales elaboradas en la anterior propuesta (fig. 54) en la misma esfera terrestre (esfera A, fig. 58) para establecer comparaciones. Un detalle al cual se puede llamar la atención, es que el trayecto del cuerpo observado en una de las semiesferas (esfera A), puede pasar muy cerca o encima del cenit local, mientras que en la otra semiesfera (B), este trayecto está más lejos del cenit respecto a la anterior.

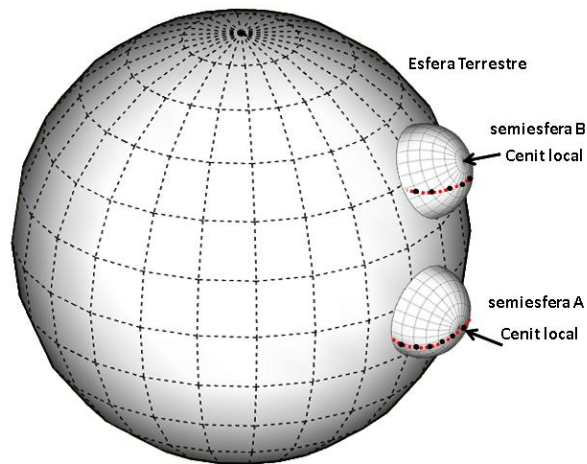


Fig. 58 Actividad para comparar posiciones y trayectorias del Sol/Luna desde diferentes ubicaciones en la Tierra. Fuente: elaboración propia.

Fase 4: Socialización del modelo. Esta fase no cambia en su objetivo respecto a la descrita en la anterior propuesta. Si el maestro desea, puede cambiar las actividades y estrategias de socialización, con base en los resultados de la anterior propuesta, y también para agregar novedad a la actividad y que esta no se presente como algo rutinario y repetitivo.

6. Reflexiones Finales

Los retos asociados a la enseñanza de las ciencias naturales dependen de las condiciones actuales, caracterizadas por el continuo cambio, la constante innovación y el papel que tienen esos cambios y avances dentro de la sociedad, en la cual la ciencia no es ajena ni neutra. Por ello, en los espacios educativos surge la continua necesidad de, por una parte, actualizar los contenidos, y por otra, revisar las prácticas pedagógicas que acompañan al maestro en torno a la enseñanza de las ciencias. Y como se evidenció en este trabajo, es necesario actualizar los argumentos que sustentan esas prácticas, en especial los roles del maestro y de los estudiantes en la enseñanza de las ciencias. Atendiendo a estas condiciones, en este apartado se desarrollan varios puntos que exponen las reflexiones producto de la profundización teórica y de las consideraciones derivadas en este trabajo.

El primer punto, son las preocupaciones que motivaron y enmarcaron el desarrollo de este trabajo. Segundo, las acciones particulares para el desarrollo de una propuesta para los maestros. Tercero, los aportes de este trabajo al estado actual de propuestas en la enseñanza de la Astronomía. Cuarto, el papel del maestro en la enseñanza de la Astronomía. Y quinto, posibles líneas de investigación que pueden enriquecer el conjunto de propuestas construidas sobre la enseñanza de la Astronomía.

6.1. Preocupaciones personales en torno a la enseñanza de la astronomía.

Una preocupación que motivó a desarrollar este trabajo, fue trascender de las actividades anecdóticas, muy frecuentes en las actividades de divulgación con las que ha tenido contacto el autor (museos, centros de interés). Estas actividades adolecen de estar conectadas al contexto de los estudiantes, no cuentan con un criterio o lineamiento que las configure para que el estudiante le dé sentido a eso que se le presenta (contenido audiovisual, charlas, actividades lúdicas, etc.) y lo relacione con su entorno. A esta situación, se añade la tendencia observada por el autor en la población educativa con la que interactuó en experiencias anteriores, de ignorar las características de algunos eventos celestes, entre ellos el cambio de posición del Sol y de la Luna a través del paso del tiempo, o que éstos se dan por sentado, sin ningún tipo de atención especial por parte de ellos. A esto se suma el papel de los medios de comunicación en el nivel y calidad de información que ofrecen a la población en general, que en raras ocasiones está

fundamentada de forma experimental y metódica, lo cual produce confusión y desinformación en torno a esos eventos.

El autor de este trabajo considera relevante dar a conocer el papel de esos objetos (Sol/Luna)-eventos (posición, movimiento), en tanto guardan una estrecha relación con procesos físicos y biológicos sucedidos en nuestro planeta. Y se constituyen en una excusa que permite al estudiante acercarse a una forma de proceder en la ciencia, y mediante la cual se adquiere habilidades que si bien a futuro no necesariamente se pondrán en juego en actividades científicas, le ayudan a adaptarse al mundo cambiante y asumir posturas críticas y reflexivas que le ayuden a tomar decisiones que no solo le beneficien a él, sino también a su comunidad.

En esas condiciones, la preocupación del autor por establecer esos lineamientos, le llevaron a plantear inicialmente una propuesta que se limitaba al análisis de un instrumento (Astrolabio) que por sí solo no responde al contexto problemático identificado en este trabajo. Producto de reflexiones personales que surgen gracias a las actividades y discusiones desarrollados en los diferentes seminarios de la Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales, de la Universidad Pedagógica Nacional, se orienta la mirada a una nueva propuesta, presentada en este trabajo, centrada en la construcción de unas consideraciones que se espera, privilegien el papel de la experiencia y saber del estudiante, a través del enfoque de construcción de modelos. Bajo este enfoque se reconocen otros elementos (entre ellos el instrumento) que al articularse, hacen parte de un proceso mediante el cual el estudiante identifica, observa, mide, registra, interpreta, elabora explicaciones, comparte e intercambia y discute con otros sus saberes.

En este punto se destaca la importancia que tiene la experiencia y preocupaciones del maestro mediante las cuales busca reflexionar sobre sus prácticas y transformarlas hasta el punto de dar forma a nuevas propuestas que responden a sus preguntas por una parte, y por otra pero muy importante buscan que el estudiante dé sentido a aquello que se le presenta, a partir de sus propias experiencias y saberes, de la observación activa y propositiva, y del diálogo con otros compañeros.

6.2. Desarrollo del trabajo y de la propuesta de aula.

Las acciones requeridas para el desarrollo de una propuesta, implicó reconocer previamente que se necesitaban unas consideraciones de orden pedagógico,

epistemológico y disciplinar que ayudaran a elaborar una propuesta coherente y estructurada. Esto involucró identificar el contexto problemático, la consulta de antecedentes y definir las acciones frente a dicho problema, entre ellas redireccionar este trabajo desde una mirada centrada en un instrumento, hacia un análisis concreto sobre la construcción de modelos como referente metodológico, y sobre los modelos históricos como referentes teóricos. Esto por una parte, buscaba derivar consideraciones que ayuden al maestro, a formular acciones frente a la enseñanza de la posición y movimiento del Sol y de la luna, y por otra, poner en discusión el papel que puede tener algunos aspectos que rodean los modelos históricos en la enseñanza de la Astronomía. Y esa profundización ayudó a enriquecer no sólo los saberes disciplinares, sino también a enriquecer el discurso que sustenta futuras prácticas en torno la construcción de modelos del movimiento del Sol y de la Luna en la enseñanza de la astronomía, y que se muestra potencialmente factible para otros objetos y eventos celestes. Y sin lugar a dudas, ofrece al autor de este documento, la experiencia y los saberes construidos en este trabajo y junto a la metodología para abordar proyectos de esta índole, como al lector le ofrece un punto de referencia desde el cual reflexionar y, por qué no, construir nuevas propuestas en torno a la enseñanza de la Astronomía.

6.3. Aportes del trabajo a la enseñanza de la Astronomía

El desarrollo de este trabajo ayudó al autor a contribuir desde su propia mirada a un conjunto de trabajos en continuo crecimiento sobre la enseñanza de la Astronomía, en tres aspectos: (a) definir las consideraciones que pueden guiar las acciones del maestro y de los estudiantes, enmarcadas en la construcción de modelos como enfoque para la enseñanza de las ciencias; (b) el diseño de una propuesta de aula que dé sentido, cohesión y propósito a todas las actividades realizadas a partir de las consideraciones pedagógicas, epistémicas y disciplinares; y (c) realizar una lectura de los modelos históricos desde una mirada diferente a la que habitualmente se privilegia. Se pone en discusión dentro de una misma propuesta, diferentes aspectos que en conjunto aportan de forma significativa en la construcción de modelos en el aula, y por tanto en la enseñanza de la astronomía. Estos aspectos fueron el papel del observador, los problemas que surgieron en las explicaciones elaboradas, del marco teórico, y el papel de los instrumentos y los sistemas de referencia en la construcción de modelos históricos.

La revisión y análisis de los referentes teóricos e históricos, ayudó a encontrar aspectos de orden pedagógico, epistémico y disciplinar, que llevan a reflexionar, revisar y repensar las prácticas en el aula, enmarcadas en la modelización y que hace necesario tener en cuenta los siguientes aspectos cuando se piensa y diseña una actividad:

- Es necesario partir de una situación-problema contextualizada al entorno de los estudiantes.
- La experiencia y la pregunta de los estudiantes son importantes, en tanto movilizan al estudiante a realizar acciones (preguntar, explorar, explicar) que tienen sentido para ellos.
- La identificación y descripción de eventos-objetos ayuda a centrar la mirada en un objeto de estudio y su en su posterior representación.
- La necesidad de comprender y explicar aquello que se observa, es posible en tanto exista una preocupación del observador sobre el objeto-evento.
- La organización del objeto-evento estudiado es posible en tanto se realiza un proceso de abstracción , simplificación y representación del objeto de estudio
- El papel del instrumento y de un sistema de referencias en la construcción de modelos es relevante, en tanto se constituyen en medios para organizar la información obtenida del objeto, establecer relaciones y darle sentido.
- La construcción compartida de modelos y su discusión, implica reconocer el papel social del aula, en el proceso de preguntarse, identificar, observar, explicar, construir modelos, comunicar y validar.

La revisión de los modelos históricos, permitió derivar algunos aspectos en torno a la forma en que se organiza la observación de un objeto, las acciones particulares necesarias para esa organización y construcción de relaciones, e incluso las condiciones grupales que se suceden e intervienen en la construcción de un modelo. Si bien frente a esto último no se realizó una mirada detallada, en torno a los principales actores en la historia de dichos modelos (Aristóteles, Hiparco, Ptolomeo, Copérnico, Galileo, Kepler, Brahe, etc.), lo cual estaba fuera del alcance de este trabajo, evidencian en primera instancia, los contextos de producción y los marcos teóricos aceptados que influenciaron la construcción de un determinado modelo.

Y permiten entrever las complejas dinámicas sociales que se pueden encontrar, si se estudia en detalle el papel de cada uno de los actores en la historia de los modelos consultados. Y respecto a los modelos, esa revisión ayudó a entender cómo en la

construcción de estos, fue necesario organizar algunas cualidades específicas de los objetos, en sistemas de organización que obedecen a la lógica del observador, sistemas que se muestran todavía útiles gracias a esa misma lógica, de forma que ayuda a establecer relaciones entre las cualidades y las variables asociadas a los cuerpos celestes. Y posteriormente, ayudan a explicar y comunicar a otros las relaciones encontradas, para ser sometidas a un proceso de validación, en el cual una comunidad hace uso de sus imágenes individuales y sociales para apropiarse o rechazar el modelo propuesto.

A propósito de lo anterior, es necesario resaltar que los aspectos analizados en los modelos históricos evidencian la complejidad asociada a la construcción de los modelos construidos por los astrónomos en cada momento histórico. Y por tanto se encuentra que no se puede establecer una correspondencia entre un modelo científico y el modelo que construyen los estudiantes, en tanto los contextos de producción son muy diferentes y por tanto no comparables, desde los aspectos descritos. Esto llevo a considerar que en el diseño de la propuesta y en las actividades a desarrollar por los estudiantes, no se pueden establecer comparaciones entre el modelo que elabora el estudiante y el modelo científico, en razón de que el nivel de rigurosidad del modelo científico, las preocupaciones y contextos sociales, las formalidades usadas para describir el objeto de estudio, entre otros aspectos, no se corresponden con el contexto escolar. Se encuentra que desde el análisis de los modelos científicos, el maestro puede obtener unos criterios desde los cuales puede aportar elementos y actividades para enriquecer las representaciones de los estudiantes en torno a un objeto de estudio, como enriquecer y orientar con esos criterios la discusión que realizan los estudiantes cuando comparan sus explicaciones, producto de un proceso completo de modelización ya descrito.

6.4. Papel del maestro en la enseñanza de la Astronomía

Este trabajo destaca la necesidad de que el maestro revise el rol que juega tanto él mismo, como los modelos en los cuales se apoya, comprende y explica su entorno y el de sus estudiantes. También invita al maestro a reflexionar en torno a los saberes de los estudiantes y darles un papel protagónico en la construcción de modelos, con el objetivo de que ellos, en vez de dar fiel cuenta de un modelo científico que es ajeno a sus experiencias, construyan explicaciones de su entorno que les sean significativas para ellos dentro de su contexto, a partir de su experiencia, sus saberes y muy importante, el aspecto social ya mencionado. En este proceso, las fuentes de información producidos por la

ciencia y aprendidos por el maestro, proporcionan no solo orientaciones para la construcción de modelos, también ayudan a establecer criterios para discutir las explicaciones, e incluso invitan a formular preguntas por lo que se explica y como se explica en dichos modelos científicos.

Lo anterior implica también que el maestro reflexione en torno a sus saberes y prácticas, de forma que la enseñanza de las ciencias en el aula tenga sentido para el estudiante, y lo movilice a preocuparse y asumir una postura activa frente al entorno que lo rodea y a los modelos que lo explican. Esto demanda un alto grado de compromiso por parte del maestro, en términos de los saberes pedagógicos, epistémicos y disciplinares, que debe poseer y actualizar, para guiar de forma precisa y adecuada las actividades de aula en la enseñanza de las ciencias:

- Los saberes pedagógicos le permiten tomar decisiones en las directrices, lineamientos, propuestas, actividades, evaluaciones y cualquier otro elemento que afecta el proceso de enseñanza aprendizaje dentro del aula.
- Los saberes epistémicos le permiten entender y en consecuencia actuar sobre los aspectos asociados a la forma de comprender, explicar y construir conocimiento del entorno.
- Y los saberes disciplinares, le permiten seleccionar, centrar la mirada, ayudar a observar, medir registrar, cuantificar y estudiar el objeto natural y los eventos al cual se asocia ese objeto.

Tratar de pasar por alto estos aspectos, pone al maestro en una posición no muy confiable, por una parte, por no estar cualificado para ofrecer unas condiciones necesarias para que los estudiantes comprendan el objeto de estudio y lo puedan explicar. Y por otra parte, quien decide enseñar ciencias (y en este caso particular Astronomía) desconociendo esos aspectos, no posee los criterios que le permitan desligar su discurso y sus prácticas educativas, de la información y de los argumentos que carecen de rigurosidad científica (no son experimentales, repetibles, demostrables, presentan ausencia de formalismos para describirlos, no hay consenso en su validación y aprobación) y por tanto se mantienen en un plano especulativo. Lamentablemente esta actitud propaga el estado de desinformación, desinterés y desconfianza que aqueja a la sociedad en la actualidad.

6.5. Líneas de investigación que se derivan de este trabajo

Finalmente, se encuentra producto de este trabajo, la posibilidad de continuar o dar inicio a nuevas líneas de trabajo que refuercen otras ya existentes. Sería interesante implementar la propuesta desarrollada y sistematizar las experiencias producto de esa implementación⁴⁶. Junto a esa sistematización, se podrían identificar los imaginarios y representaciones que ponen en juego los estudiantes al construir modelos de la posición y movimiento del Sol y la luna. Incluso formular una nueva propuesta de actividades, centrada en otra temática: fases de la luna, movimientos planetarios, etc.

Otros trabajos que pueden surgir, están alrededor de la necesidad de elaborar material de apoyo, contextualizado y referenciado a una localidad específica (Bogotá y alrededores) y a una población educativa específica (especialmente primaria y secundaria), ya que es evidente la poca disponibilidad de información que corresponde a registro fotográfico de ortos y ocasos del Sol/Luna en Bogotá, registro de analemas solares y lunares, eclipses lunares, etc. Este material se mostraría muy útil para el diseño de actividades, en tanto corresponden con la localidad y por tanto con el entorno natural de los estudiantes.

También se identifica la posibilidad de profundizar en aspectos de orden disciplinar, que este trabajo no alcanzó a realizar. Entre ellos describir las soluciones geométricas y matemáticas de los modelos de Ptolomeo, Copérnico y de Kepler. Incluso la posibilidad de explorar los modelos que siguieron históricamente al formulado por Kepler, y que buscan responder preguntas en torno al orden del cosmos y las causas físicas de ese orden. Estos trabajos serían la oportunidad para poner en juego otro tipo de preguntas, y estudiar en detalle las soluciones y las respuestas que ofrecen esos modelos posteriores a Kepler, que se pregunta no por la forma de los movimientos, sino por sus causas y cuyo desarrollo dan lugar al modelo gravitacional de Newton y el modelo relativista de Einstein. Y claro está, las consideraciones de orden pedagógico, epistémico y disciplinar que se desprenden de ellos, que pudieran guardar cierta relación con los encontrados en este trabajo, así como derivar nuevas consideraciones que serían de una elevada importancia en tanto retroalimentan, actualizan, y/o construyen nuevos discursos desde los cuales el maestro otorgue nuevos sentidos a sus prácticas.

⁴⁶ En su forma inicial, este trabajo contempló y gestionó la intervención en un grupo escolar de grado cuarto, en una institución educativa pública de Bogotá D.C.. Pero debido a las condiciones sanitarias asociadas a la pandemia, no fue posible desarrollar las actividades propuestas.

Se espera que los aportes realizados desde este trabajo, junto a otros ya construidos y por elaborar, ofrezcan propuestas, recursos, lineamientos, e incluso nuevas preguntas mediante las cuales se pueda guiar a los estudiantes en la apropiación de su entorno astronómico de forma significativa para ellos y de su comunidad, les motive a evaluar y reflexionar sobre sus actitudes y aptitudes, y les ayuden a adquirir una visión renovada y comprometida sobre el singular planeta que habitan y comparten como comunidad junto a otras sociedades, y en consecuencia, tomar acciones para cuidar este “pálido punto azul”(Sagan 2020), que es nuestro hogar, la Tierra.

Bibliografía

- Álvarez G., J.; Marquina, J. y Ridaura S., R. (1993). La esfera y el círculo en la historia. *Ciencias*, núm. 30, abril-junio, pp. 2-9. [En línea]. Recuperado de: <https://www.revistaciencias.unam.mx/pt/180-revistas/revista-ciencias-30/1670-la-esfera-y-el-círculo-en-la-historia.html>
- Apiano, P. (1575). *La Cosmographia*. Anvers: por Iuan Bellerio al Águila de Oro. Recuperado de: <https://gredos.usal.es/handle/10366/83120>
- Arcà, M., Guidoni P. y Mazzoli, P. (1990). Enseñar ciencia. Como empezar: reflexiones para una educación científica de base, Barcelona: Paidós.
- Aula de Astronomía de Fuentelabrada. (2016). *Recorrido anual del Sol*. Recuperado de <https://www.auladeastronomiadefuenlabrada.com/wp-content/uploads/recorrido-anual-del-Sol.jpg>
- Bakulin, P., Kononovich, E., & Moroz, V. (1987). *Curso de astronomía general* (1st ed.). Moscú: Mir.
- Barbero, S. (2014). Representación iconográfica de una dioptra en un tapiz flamenco del siglo XV. *Óptica Pura Aplicada*, 47(1), 51-62.
Doi:<http://dx.doi.org/10.7149/OPA.47.1.51>
- Basto, A. (2018). *Modelización del día y la noche: Experiencia con el grado quinto del colegio José Antonio Galán* (Maestría). Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá.
- Bautista L., M. (2018). *Astronomía de posición: la relación entre la latitud y el cambio de la observación del firmamento* (Pregrado). Universidad Pedagógica Nacional.
- Bernardini, E. (2011). Nodos órbita Lunar. En: *Eclipses Solares: Astronomía Sur*. Astrosurf.com. Recuperado de <http://www.astrosurf.com/astronosur/sol1.htm>
- Bocanegra C, G. (2018). *La astronomía como recurso de aprendizaje interdisciplinar en la escuela para el grado quinto* (Maestría). Universidad del Tolima, Ibagué.

- Bohórquez, J., & Orozco, F. (2015). Modelo y Modelización en la historia de las ciencias. *Revista TECKNE*, 13(1), 34-44. Recuperado de <http://www.unihorizonte.edu.co/revistas/index.php/TECKNE/article/view/147>
- Brahe, Tycho. (1602). *Astronomiæ instauratæ mechanica*. Apud L. Hvlsivm. Recuperado de: <https://doi.org/10.5479/sil.77076.39088002053528>
- Bravo, R. (2020). Perigeo apogeo luna. En: *¿Por qué la Luna parece más grande en el horizonte? - AstroAficion*. Recuperado de: <https://astroaficion.com/2019/05/16/por-que-la-luna-parece-mas-grande-en-el-horizonte/>
- Camacho R., A., Sánchez L., B., Blanco V., R., & Cuevas A., J. (2011). Geometrización de una porción del espacio real. *Educación Matemática*, 23(3), 123-145.
- Camino, N. (2011). *La didáctica de la astronomía como campo de investigación e innovación educativas*. Simposio Nacional de Educación en Astronomía. Rio de Janeiro
- Camino, N., Nardi, R., Pedreros, R., García, E., & Castiblanco, O. (2016). Retos de la Enseñanza de la Astronomía en Latinoamérica. *Góndola, enseñanza y aprendizaje de las ciencias*, 11(1), 5-6.
- Cano M., A. (2009). Plantilla cuadrante. En: *Taller de Astronomía: Instrumentos Celestes*. Recuperado de <https://circulosolar.files.wordpress.com/2011/02/instrumentoscelestes1.pdf>
- Calvo M., B. (2018). Analema en Bogotá. En: *El Tiempo en Astronomía*. Presentación, Bogotá, Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de: <https://docplayer.es/63096949-El-tiempo-en-astronomia-prof-benjamin-calvo-mozo.html>
- Cardenete G., S. (2011). Sol, Tierra y Luna. Movimientos relativos y sus consecuencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 8, 512-518. [Fecha de Consulta 8 de Abril de 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=920/92022427021>

- Castro, M. (2019). *El observatorio astronómico: un diálogo entre ciencia y arquitectura* (Doctorado). Universidad de Málaga.
- Christianson, J. (2017). Tycho Brahe's Earliest Instruments. *Renæssanceforum*, 12, 131-144. Recuperado de https://www.njrs.dk/12_2017/12_christianson_brahe.pdf
- Colegio Santa María Reina. (2018). *Maquetas Movimientos Rotación y Traslación*. Recuperado a partir de <http://www.colegiosantamariareina.org/planetas-eso/>
- Copérnico, N. (1543). *De revolutionibus orbium coelestium* (1st ed.). Núremberg: Apud Ioh. Petreium. Recuperado de https://archive.org/details/nicolaicopernici00cope_1/page/n41/mode/2up
- Cruz M., M. (2019). *El uso de instrumentos en astronomía: una propuesta de enseñanza para potenciar la habilidad de observación* (Pregrado). Universidad Pedagógica Nacional.
- Culturacientifica.com.(2015). Astrolabio. En: *El astrolabio, el universo en tus manos*. Recuperado de <https://culturacientifica.com/2015/06/23/el-astrolabio-el-universo-en-tus-manos/>
- Curt R., G. (1989). Tycho Brahe's Innovations in instrument design. *Bulletin Of The Scientific Instrument Society*, (22), 2-4. Recuperado de https://static1.squarespace.com/static/54ec9b40e4b02904f4e09b74/t/567fdaa1df40f3468f6b9d3c/1451219617429/SIS_Bulletin_022.pdf
- Elkana Y. (1977). La ciencia como sistema cultural: una aproximación antropológica. *La culture scientifique dans le monde contemporaine*, p.p. 215 – 311. Roma.
- Epicfantasy. (2016). [Captura de video]. En: *How to Make a Wizards Orrery*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=iCHFNIeOfII>
- Escamilla B, L. (2019). *Modelos del sistema tierra – sol con el grupo de astronomía de la escuela pedagógica experimental* (Pregrado). Universidad Pedagógica Nacional.
- Fernández, L. (2010). La octava esfera o la esfera de las estrellas fijas. *Revista Digital De Iconografía Medieval*, 2(3), 41-51. Recuperado a partir de <https://www.ucm.es/data/cont/docs/621-2013-11-21-7.%20Octava%20esfera.pdf>

- Fiorentino, M. (1537). *Sphera volgare nouamente*. Venecia: Bartholomeo Zanetti.
Recuperado a partir de:
https://ia801004.us.archive.org/7/edag/spheravolgarenov00sacr_0/spheravolgarenov00sacr_0.pdf
- Flórez H., H., Mancera P., Y., Ponce D., J., & Roncancio L., M. (2019). *Astronomía Lúdica: Una oportunidad en la escuela primaria para acercarnos a las ciencias*. (Especialización). Fundación Universitaria Los Libertadores, Bogotá.
- Frigg, R., & Nguyen, J. (2017). Models and Representation. En L. Magnani & T. Bertolotti, *Springer Handbook of Model-Based Science* (pp. 49-102). Springer Handbooks.
- Galindo, B. A. (2014). *Propuesta Didáctica para la enseñanza de la identificación y posicionamiento de algunos astros, empleando el software Stellarium, en estudiantes de educación media* (Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Gallego H., S., & Motato, M. (2011). *Concepciones del día y la noche en los niños y niñas de tercer grado del Liceo Fantasías del Saber* (Pregrado). Universidad Tecnológica de Pereira.
- Galperin, D., & Raviolo, A. (2014). Sistemas de referencia en la enseñanza de la Astronomía. Un análisis a partir de una revisión bibliográfica. *Latin-American Journal Of Physics Education*, 8(1), 136-148. Recuperado a partir de http://www.lajpe.org/march14/18_LAJPE_875_Diego_Galperin.pdf
- Gangui, A. (2013). La esfera armilar. *Ciencia Hoy*, 22(130), 31-48. Recuperado de <http://www.cienciahoy.org.ar/ch/hoy130/cienciaenelaula.pdf>
- Gavidia, V. (2014). A vueltas con el gnomon. Buscando soluciones a problemas. *Revista Enseñanza de las Ciencias*. Núm. 32.3: pagina 631-647. Barcelona, España.
- Giordan A. y Vecchi, Gérard de. (1995) Los Orígenes del Saber. Serie Fundamentos N° 1, Colección Investigación y Enseñanza Diada Editora S. L. Sevilla.
- Godoy, O. L. (2018). Modelos y Modelización en ciencias una alternativa didáctica para los profesores para la enseñanza de las ciencias en el aula. *Tecné*

Episteme Y Didaxis: TED, (Extraordin). Recuperado de
<https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/8898>

González, A. P. (2012). *Propuesta didáctica para la enseñanza de fenómenos de movimiento en el sistema SOL TIERRA LUNA*. (Maestría) Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

González M., J., & Medina H., C. (2009). Técnicas astronómicas de orientación e instrumentos náuticos en la navegación medieval. *Fortvnatae*, 20, 17-29.
Recuperado de:
https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/12768/F_20_%282009%29_02.pdf?sequence=1&isAllowed=y

González O., C. (2005). El gnomón y el esclavo. *Nova tellus*, 23(1), 23-47.
<https://doi.org/10.19130/iifl.nt.2005.23.1.149>

Greca, I. & Moreira, M. (1998). Modelos mentales, modelos conceptuales y modelización. *Cuaderno Brasileiro de Enseñanza de la Física*, V. 15, núm. 2. Porto Alegre

Greca, I.; Moreira, M. & Palmero, M. (2002). Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, V. 2, núm. 3, Porto Alegre. P.p. 37-57, 2002.

Guerrero, A. C. (2015). *La clase de ciencias como contexto de vivencia de conocimiento*. (Maestría) Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.

Hanson, N. (1965). Observation. En N. Hanson, *Patterns of 171edagógic. An 171edagóg into the conceptual foundations of science* (1st ed., pp. 4-30). Cambridge University Press. Recuperado de
<https://ia803107.us.archive.org/5/171edag/PatternsOfDiscovery/Patterns%20of%20Discovery.pdf>

Hernández P., A. (2014). Astrolabios andalusíes e hispanos: de la precisión a la suntuosidad. *Anales De Historia Del Arte*, 24, 289-305.
Doi:http://dx.doi.org/10.5209/rev_ANHA.2014.48279

(2017). Arte y ciencia en Al-andalus: el astrolabio nazarí de Alcalá La Real. *Boletín Instituto de Estudios Giennenses*, (215), Págs. 75-106. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6282889>

(2018). Tocar el cielo y medir lo invisible. Astrolabios medievales, paradigma de arte y ciencia, símbolo de estatus e imagen del Universo. *GOYA*, (363), 91-107. Recuperado de: https://www.academia.edu/37345785/_Tocar_el_cielo_y_medir_lo_invisible._Astrolabios_medievales_paradigma_de_arte_y_ciencia_smbolo_de_estatus_e_imagen_del_Universo_Goya._Revista_de_Arte_363_2018_pp._91-109

Iglesias, M., Quinteros, C., Gangui, A. (2008). Astronomía en la escuela: situación actual y perspectivas futuras. Actas de REF-XV, 15ª Reunión Nacional de Educación en la Física, edición en CD-ROM, Editado por la A.P.F.A. Recuperado de: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0807/0807.0418.pdf>

Instituto de Tecnologías Educativas. (2020). Bóveda Celeste. En: *Recorrido aparente del Sol -Temas de Ecología*. Fjferer.webs.ull.es. Recuperado de https://fjferer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion02/3_recorrido_aparente_del_sol.html

Jiménez J., A. (2011). “*Propuesta didáctica para pasar de preconceptos comunes a conceptos científicos con estudiantes de quinto grado de primaria a partir del desarrollo histórico del Zodíaco hasta llegar a la Eclíptica*”. (Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Justi, R. (2006). La enseñanza de las ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza De Las Ciencias*, 2(24), 173-184. Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/13271794.pdf>

Juvekar, A. (2016). Sunset Mar15-June7 En McCLure B (2020) *Watch the sun's shift on your horizon*. Recuperado a partir de <https://earthsky.org/astronomy-essentials/how-far-does-sun-move-on-your-horizon-each-day>

Kepler, J. (1609). *Astronomía Nova* (1st ed.). Praga: Heidelberg : G. Voegelinus. Recuperado a partir de <https://archive.org/details/astronomianovaai00kepl/page/6/mode/2up>

- Kuhn, T., 1985. *The Copernican Revolution*. 2nd ed. [ebook] Library Of Congress.
 Disponible en: <https://fpa2014.files.wordpress.com/2014/01/173eda-thomas-s-the-copernican-revolution.pdf> [Consultado 01 Junio 2019].
- Lanciano, N., & Camino, N. (2008). Del ángulo de la geometría a los ángulos en el cielo. Dificultades para la conceptualización de las coordenadas astronómicas acimut y altura. *Enseñanza De Las Ciencias*, 1(26), 77–92.
 Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2560512>
- Lavanha-Luis T., J. (2020). Esfera Armilar. En: *Esfera Armilar*. Recuperado de <http://www.cielosur.com/archivos/archisaenefeb02.php>
- Malagón S., J., Ayala Manrique, M., & Sandoval O., S. (2013). *Construcción de fenomenologías y procesos de formalización. Un sentido para la enseñanza de las ciencias* (pp. 85-104). Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Manuel, J., & Montero, A. (1995). Dificultades en el aprendizaje del modelo Sol-Tierra implicaciones didácticas. *Revista De La Asociación Española Para La Enseñanza De Las Ciencias De La Tierra*, 3(2), 91-101. Recuperado a partir de <https://www.raco.cat/index.php/ECT/article/view/88184/141674>
- Martínez S., B. (2004). La enseñanza/aprendizaje del modelo Sol-Tierra: Análisis de la situación actual y propuesta de mejora para la formación de los futuros profesores de primaria. *Revista Latino-Americana De Educação Em Astronomia*, (1), 7-32.
 Recuperado a partir de <http://www.relea.ufscar.br/index.php/relea/article/view/50>
- McMillan, J., & Schumacher, S. (2005). *Investigación Educativa. Una introducción conceptual* (5th ed., pp. 397-520). Madrid: Pearson Educación, S. A.
- Mendoza T., J. (2010). *Introducción a la Astronomía y a la Astrofísica* (1st ed.). México: Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica.
- (2013). *Elementos de Astronomía Observacional: La Esfera Celeste* (1st ed.). México: Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica.
- Millar, R. y Osborne, J. (1998). *Beyond 2000: Science education for the future*. Londres: King's College, London School of Education. Recuperado de:

https://www.researchgate.net/publication/254307212_Beyond_2000_Science_biology_education_for_the_future

Ministerio de Educación Nacional. (2004). *Serie Guías N°7 Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales y Ciencias Sociales*. Recuperado de: https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-81033_archivo_pdf.pdf

Mitchell, T. (2018). *The Astrolabe in Theory and Practice*. Recuperado de http://astrolabeproject.com/downloads/Astrolabe_in_Theory_and_Practice.pdf

Modelo. (2019). En *Real Academia Española. Diccionario de la lengua española*. Recuperado de <https://dle.rae.es/modelo>

Morrison, M. y Morgan, M. S. (1999). Models as mediating instruments, en Morgan, M.S. y Morrison, M. (eds.). *Models as mediators*, pp. 10-37. Cambridge: Cambridge University Press.

Muñoz, E. (2017) *Estrategia metodológica que contribuya a la enseñanza de la astronomía*. (Maestría). Universidad Nacional de Colombia. Medellín.

Neugebauer, O. (1949) *The Early History of the Astrolabe*. Studies in Ancient Astronomy IX, Isis, Vol. 40, No. 3, pp. 240-256

Oliva. J. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza De Las Ciencias*, 2(37), 5-24. Recuperado de: https://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc_a2019v37n2/edlc_a2019v37n2p5.pdf

Ortiz A., L. (2015). *El Cielo en las Ciencias: Enseñanza de la Astronomía en la Escuela. Grado Décimo*. (Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

Orontii Finaei (1544). Dreistab En: *Dreistab*. wikipedia.org. Recuperado de <https://de.wikipedia.org/wiki/Dreistab>

Palomar, R. (2013). Enseñanza y aprendizaje de la astronomía en el bachillerato. (Doctorado) Universidad de Valencia, España.

Pearson Scott Foresman. (2015). Astrolabe. En: *Astrolabio Nautico*. Recuperado de [https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Astrolabe_\(PSF\).png](https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Astrolabe_(PSF).png)

- Pedrerros Martínez, R. I. (2019). La Astronomía y su enseñanza en la Educación Básica y Media. *Revista científica*, 226-233. <https://doi.org/10.14483/23448350.14494>
- Polanco E, Y. (2017). Enseñanza de astronomía estelar a docentes en formación en ciencias naturales (Maestría). Universidad del Valle, Cali.
- Pozo, J.I. y Gómez, M.A. (1998) *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Ediciones Morata, Madrid
- Ptolomeo, C. (1984). *Ptolemy's Almagest* (Trad. Toomer, G) London: Duckworth.
- Ridpath, I. (1987). *Diccionario Ilustrado de la Astronomía y Astronáutica* (1st ed.). Bogotá: Editorial Everest.
- Rioja, A., & Ordoñez, J. (1999). *Teorías del universo Vol 1 De los Pitagóricos a Galileo*. Madrid: Síntesis.
- Rojas P., I. (2012). *Astronomía Elemental V1: Astronomía Básica* (1st ed.). Valparaíso: Editorial USM.
- Sagan, C. (2020). *Cosmos* (11th ed., pp. 45-71). Barcelona: Editorial Planeta.
- Sandoval O., S., Malagón S., J., Garzón B., M., Ayala M., M., & Tarazona V., L. (2018). *Una perspectiva fenomenológica para la enseñanza de las ciencias* (1st ed.). Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional- CIUP. Recuperado a partir de <http://editorial.pedagogica.edu.co/docs/files/CIUPLibro%209%20final.pdf>
- Šíma, Z. (1993). Prague sextants of Tycho Brahe. *Annals of Science*. 50. 445-453. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/232859538_Prague_sextants_of_Tycho_Brahe
- Simoës, C. (2013). Afelio y perihelio del sol. En: *Sol (estrella)* — Astronoo. Astronoo.com. Recuperado de: <http://www.astronoo.com/es/sol.html>
- Soler G., F. (2008). Modelos cosmológicos: ¿ficciones útiles o descripciones realistas del universo?. *Thémata. Revista De Filosofía*, (40), 117-144. Recuperado de <https://revistascientificas.us.es/index.php/themata/article/view/604>

- Tarquino Cabra, E. (2016). *Desarrollo de Procesos de Investigación en la Escuela a partir de la Astronomía* (Maestría). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá.
- Ten, A., & Monros, M. (1984). Historia y enseñanza de la Astronomía. Los primitivos instrumentos y su utilización pedagógica. *Enseñanza De Las Ciencias: Revista De Investigación Y Experiencias Didácticas*, 2(1), 49-56. Recuperado de <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/50694>
- The Library at The Mariners' Museum. (1767). Quadrant, A New Collection of Voyages, Discoveries and Travels. En: *Cuadrante*. Recuperado de <https://exploration.marinersmuseum.org/object/quadrant/>
- The National Center for Atmospheric Research. (2020). *Tycho Brahe's Observations and Instruments*. Recuperado 12 Septiembre de 2020, a partir de <https://www2.hao.ucar.edu/Education/FamousSolarPhysicists/tycho-brahes-observations-instruments>
- Valencia, S., Méndez, O. Jiménez, G. (2006). Los saberes de la representación o de cómo imaginar la escuela.
- Venero, R. (2019). Astronomía. Fcaglp.fcaglp.unlp.edu.ar. Recuperado de <http://fcaglp.fcaglp.unlp.edu.ar/~roberto/datos.html>
- Vernet, J. (1974). Copérnico: sus obras astronómicas. *CONVIVIUM*, (43), 27-54. Recuperado a partir de: <https://www.raco.cat/index.php/Convivium/article/view/76463>
- Viniegra H, F. (2001). *Una mecánica sin talachas* (3ª. ed.) (2nd ed.). México: FCE - Fondo de Cultura Económica.

Anexos

Anexo 1: Antecedentes trabajos en torno a la enseñanza de la astronomía

Tabla 10: análisis de trabajos antecedentes

Trabajo de investigación	Resumen Resaltado en amarillo: acciones del maestro Resaltado en azul: rol del estudiante Resaltado en verde: sentido o papel que tiene la astronomía o un tema relacionado con ella u otra disciplina	Conclusiones
Modelos del sistema Tierra - Sol con el grupo de astronomía de la Escuela Pedagógica Experimental Escamilla (2019)	El trabajo tiene como objetivo determinar los modelos del sistema Tierra-Sol, elaborados por un grupo de estudiantes vinculados a un proyecto de astronomía de una institución educativa. Para ello se realizaron actividades de modelación del sistema Tierra Sol, con los estudiantes a partir de las preguntas, supuestos, predicciones variables y consideraciones individuales como grupales	Las vivencias registradas en el aula en torno a un conjunto específico de actividades hacen evidentes tanto las inquietudes como predicciones de los estudiantes en torno al movimiento y trayectorias con los cuales relacionan las posiciones del Sol con la sombra y la hora registradas en un aparato (gnomon). También se encontró que la revisión y análisis de los modelos sobre el universo de los autores Ptolomeo, Copérnico, Tycho y Kepler amplió las comprensiones respecto a las interrogantes y contextos a los cuales responden dichos modelos
Modelización del día y la noche: experiencia con el grado quinto del colegio José Antonio Galán (MDCN) Basto A. (2018)	El autor aborda el evento del día y la noche con los estudiantes de quinto, con lo que indaga los conocimientos de los estudiantes acerca de dicho evento, las características que tienen en cuenta del cielo, y la forma de los estudiantes orientarse en su entorno para comprender y explicar el evento. Con ello se realizan reflexiones teóricas-metodológicas sobre el trabajo realizado en el aula, y lo que emerge en el aula, que permiten pensar la enseñanza de la astronomía, transformar las relaciones con el entorno físico y natural, y enriquecer las acciones pedagógicas-didácticas del maestro.	El estudio del evento del día y la noche, hace posible al estudiante ser participe en la construcción de significados de sus ideas, y en la construcción de conocimiento dentro de su comunidad. También le mejoro la comprensión de situaciones cotidianas sin necesidad de reproducir lo escrito en los textos escolares, y de relacionar sus conocimientos con sus experiencias cotidianas. El trabajo en el aula con los estudiantes hace visible las representaciones que tienen los estudiantes, gracias a los relatos y explicaciones construidos, con los cuales sostiene sus conocimientos y los transforma con la información que circula dentro del aula.
La astronomía como recurso de aprendizaje interdisciplinar en la escuela para el grado quinto. Bocanegra (2018)	El autor presenta una propuesta didáctica que usa la astronomía como recurso de motivación para la enseñanza de las matemáticas, para el grado quinto. Esta propuesta relaciona conceptos de astronomía con derechos básicos de aprendizaje de matemáticas propuestos por el MEN (2015). Ello con el fin de generar un encuentro interdisciplinar entre las matemáticas y la astronomía.	La unidad didáctica como recurso de enseñanza evidencia un campo emergente de investigación para los estudiantes. Es una herramienta que ayuda a implementar los referentes curriculares propuestos por el MEN, a la articulación de los diferentes componentes de actualización curricular, como recurso de implementación de los planes de área y aula. Mejora el estudio de los conceptos requeridos para fortalecer los conceptos adecuados del componente epistemológico.
Estrategia metodológica que contribuya a la enseñanza de la astronomía. Muñoz (2017)	El trabajo presenta una propuesta que fortalece el desarrollo de competencias matemáticas y generar interés tanto en docentes como estudiantes de grado 11, por medio de la aplicación del método científico y el trabajo colaborativo a partir de	El autor plantea que aunque los estudiantes conocen en forma teórica temas relacionados con la astronomía, las experiencias prácticas o reflexivas han sido mínimas. Por ello las metodologías deben ser dinámicas y participativas donde el estudiante sea el protagonista y el docente tiene la función de

Trabajo de investigación	Resumen	Conclusiones
	<p>Resaltado en amarillo: acciones del maestro</p> <p>Resaltado en azul: rol del estudiante</p> <p>Resaltado en verde: sentido o papel que tiene la astronomía o un tema relacionado con ella u otra disciplina</p>	
<p>Enseñanza de astronomía estelar a docentes en formación en ciencias naturales.</p> <p>Polanco (2017) Universidad del Valle</p>	<p>Presentan una propuesta de enseñanza de astronomía estelar a maestros en formación, tomando como base la comprensión de la estructura y evolución de una estrella. Esto con el fin de ayudar al maestro a relacionar conceptos de ciencias naturales y propiciar en los estudiantes el conocimiento de la naturaleza del universo. Los autores toman tres elementos importantes en la enseñanza de astronomía estelar, a saber la orientación en el cielo, el uso de instrumentos para la observación y el estudio de las estrellas y su evolución estelar.</p>	<p>guiar al estudiante y llevarlo a asumir con responsabilidad su propio aprendizaje. Cuando los estudiantes se sienten actores en un proyecto novedoso, sienten propio el interés y la importancia de la astronomía. Esto facilita y mejora su participación y pone en juego sus propios conceptos.</p> <p>La astronomía estelar aporta elementos que desde los cuales abordar temas asociados a la identificación de cuerpos celestes, la relación del Sol con la vida en la Tierra y la posibilidad de vida en otros sistemas planetarios. Estos a su vez articulan con otras áreas y temas, en tanto la astronomía estelar amplia el panorama en la enseñanza de las ciencias. Por otra parte la enseñanza de la astronomía estelar no requiere de laboratorios y equipos especializados, disponiendo de recursos accesibles para realizar las actividades de aula.</p>
<p>Desarrollo de Procesos de Investigación en la Escuela a partir de la Astronomía</p> <p>Tarquino (2016)</p>	<p>El trabajo presenta la construcción e implementación de una secuencia didáctica para la enseñanza de las dimensiones físicas masa y longitud dentro del sistema Tierra-Luna. Para ello toma la enseñanza por investigación, como estrategia para el diseño de la propuesta, con lo que se caracterizan los contenidos históricos, filosóficos y matemáticos mediante la introducción de diversos procesos de investigación. Esto genera en los estudiantes la necesidad de construir conjeturas, el uso de diferentes representaciones, posibilitando un aprendizaje significativo dentro del aula.</p>	<p>En la implementación de una propuesta metodológica basada en el desarrollo de procesos de investigación científica en la escuela, la adquisición del conocimiento científico implica un cambio sustancial en las estructuras conceptuales de los estudiantes. Ese cambio no puede ser lineal ni inmediato, se da desde un proceso largo que se alcanza sorteando las dificultades presentes en los procesos de enseñanza-aprendizaje, en particular de las ciencias. La propuesta realizada en el trabajo, que tiene una estrategia de orientación constructivista, en forma de secuencia didáctica puede generar aprendizajes significativos a largo plazo, y que son construidos a partir de las soluciones de diferentes actividades con las que el estudiante se ve enfrentado a diario en su medio.</p>
<p>Astronomía lúdica: una oportunidad en la escuela primaria para acercarnos a las ciencias.</p> <p>Flores, Mancera, Ponce, Roncancio (2015) Fundación Universitaria Los Libertadores</p>	<p>Los autores presentan el diseño e implementación de una propuesta lúdica para la enseñanza de la astronomía, como estrategia para promover el interés en la misma y el desarrollo del pensamiento científico, en estudiantes de grado cuarto en primaria. Como parte de la propuesta lúdica, los autores consideran el papel del arte, la literatura, los juegos, la actividad física y manual, esta última por medio de la construcción de un telescopio.</p>	<p>El planteamiento de una propuesta lúdica, ayuda a construir concepciones más amplias frente al conocimiento científico. La enseñanza de la astronomía potencia el desarrollo de diferentes habilidades que muestran ser útiles en cualquier contexto La propuesta lúdica ayuda a los estudiantes a explorar otras formas de comprender el mundo y acercarse a la ciencia de forma contextualizada y útil.</p>
<p>El Cielo en las Ciencias: Enseñanza de la Astronomía en la</p>	<p>En el trabajo se retoma una propuesta curricular de la enseñanza de la astronomía, como un espacio</p>	<p>El trabajo realizado estructuró un currículo que fue puesto a prueba y evaluado favorablemente por estudiantes y el</p>

Trabajo de investigación	Resumen	Conclusiones
Escuela. Grado Décimo. Ortiz (2015)	<p>Resaltado en amarillo: acciones del maestro</p> <p>Resaltado en azul: rol del estudiante</p> <p>Resaltado en verde: sentido o papel que tiene la astronomía o un tema relacionado con ella u otra disciplina</p> <p>unificador de áreas. Ello a partir de la hipótesis que las formas de estudio de la antigüedad permitían al discente de ese momento conocer el mundo desde lo cualitativo y cuantitativo. La propuesta está formulada por temáticas con el fin de que esta propuesta puede ser usada por docentes de otras áreas: trigonometría, física, filosofía, entre otras. Con ello se busca demostrar que es posible unificarse los procesos de aprendizaje.</p>	coordinador académico del Colegio Calasanz Sede Medellín. La propuesta es susceptible de ser mejorada y ajustada dependiendo de la institución en la que se implemente.
Evaluación de una propuesta para la enseñanza y el aprendizaje de la astronomía en secundaria Palomar (2013)	El autor presenta una propuesta para la enseñanza de la astronomía en estudiantes de secundaria, enmarcada en el socioconstructivismo. Esta propuesta surge de la aplicación de un diseño pretest y postest	La propuesta planteada por el autor (no se describe en el documento) ayudo a los estudiantes a aproximarse a aspectos fundamentales de la actividad científica que se ignoran en la enseñanza de las ciencias, entre ellas familiarizarse con la naturaleza de la ciencias, cuestionar las concepciones del universo y evidenciar las relaciones Ciencia-Tecnología-Sociedad. El análisis estadístico de las pruebas realizadas a dos grupos de estudiantes, evidencio que el grupo con modalidad científico-tecnológica obtuvo una mejora estadística sobre los ítems relacionados con CTS , cambio de sistemas de referencia y escalas, mayor que el grupo bajo la modalidad de humanidades-ciencias sociales.
Propuesta Didáctica para la enseñanza de la Identificación y posicionamiento de algunos astros, empleando el software Stellarium, en estudiantes de educación media. Galindo (2014)	El trabajo propone como alternativa a las observaciones del ciclo que se dificultan debido a diferentes factores, el uso del software Stellarium, con el cual se relacionan la posición de algunos astros con los puntos cardinales terrestres. Este tuvo como objetivo evidenciar las representaciones que tienen los estudiantes frente a conceptos de astronomía de posición y brindar elementos para el diseño de actividades y herramientas que hacen parte de la propuesta. Con el trabajo se busca ayudar a los estudiantes a relacionar conceptos científicos con la solución de problemas, dificultad que fue identificada en el desarrollo del trabajo.	Encuentran que los estudiantes tienen gusto por la astronomía y evidencian mayor interés cuando la introducción a la temática se realiza a partir de la solución de problemas y se encuentran dificultades para solucionar esos problemas a partir de la relación entre conceptos científicos.
Propuesta didáctica para pasar de preconceptos comunes a conceptos científicos con estudiantes de quinto grado de primaria a partir del desarrollo histórico del Zodíaco hasta llegar a la Eclíptica	El trabajo recoge las ideas previas que tienen los niños de grado quinto sobre los conceptos astronómicos relacionados con el zodiaco y la eclíptica. Con base en los resultados se plantea una propuesta a partir del trabajo interdisciplinar con diferentes áreas: ciencias, matemáticas, lenguaje. La propuesta tenía como fin estimular el conocimiento científico y favorecer estrategias que permitan el cambio conceptual en los estudiantes.	Se encuentra que el termino zodiaco no es familiar a los estudiantes, en tanto que el termino astro si es familiar, pero ha sido vulgarizado y asociado a la astrología. La propuesta amplio dichas miradas partiendo de los imaginarios que tiene los estudiantes e introduciéndolos a nociones astronómicas asociadas al zodiaco desde la perspectiva astronómica y científica. Las maquetas y experimentos fueron recursos importantes para que el estudiante apropiara los nuevos conceptos junto con el trabajo en grupo. Es necesario tener en cuenta el carácter

Trabajo de investigación	Resumen	Conclusiones
	<p>Resaltado en amarillo: acciones del maestro</p> <p>Resaltado en azul: rol del estudiante</p> <p>Resaltado en verde: sentido o papel que tiene la astronomía o un tema relacionado con ella u otra disciplina</p>	
Jiménez (2011)		interdisciplinar de la astronomía, con el fin de ayudarlo al estudiante a comprender la implicación de un concepto en diferentes contextos, ayudándole a entender que el conocimiento no está sesgado ni parcelado.

Fuente: elaboración propia

Tabla 11: Antecedentes sobre trabajos relacionados con el sistema Tierra-Sol-Luna.

Trabajo	Modelo abordado/ Posición-Movimiento, relación observador-entorno	Actividades realizadas: fases, instrumentos
El uso de instrumentos en astronomía: una propuesta de enseñanza para potenciar la habilidad de observación	Trabajo centrado en la observación y el instrumento. No se refiere a una posición particular. Pero el desarrollo de actividades está centrado en una visión topocéntrica.	Las actividades fueron realizadas en las asignaturas de Biología y Matemáticas. Actividad Construyendo mi horizonte: los estudiantes realizan por grupos un dibujo de su horizonte, junto con preguntas que interrogan por lo que dibujan. Actividad Encuentro la sombra. Los estudiantes realizan la construcción de un gnomon, y realizan observaciones en torno al cambio de posición de la sombra en diferentes momentos del día. Actividad ¿Me ubico o me pierdo? Los estudiantes determinan la posición de diferentes objetos representados en un plano cartesiano (imprimible), que imitan las coordenadas geográficas (latitud-longitud) Actividad ¿Lejos o cerca?: Los estudiantes construyen un sextante y determinan su posición o la posición de un objeto a partir del ángulo medido. Actividad ¿Siempre la misma ruta? Los estudiantes construyen un simulador de movimiento solar, con el cual estiman la puesta o salida del Sol dependiendo de la posición de un observador, que puede representar el simulador.
Cruz 2019		
Modelos del sistema Tierra - Sol con el grupo de astronomía de la escuela pedagógica experimental	Se describen los modelos históricos en torno a la configuración de la Tierra-Sol: Modelo de Tolomeo (geocéntrico) Copérnico (heliocéntrico) Tycho (geocéntrico) y Kepler (heliocéntrico).	Conjunto de actividades: Relación con el movimiento Los estudiantes realizan movimientos corporales (sin relación con el movimiento de cuerpos celestes) con total libertad, no se especifica el contexto para el ejercicio. Dibujando la Trayectoria Los estudiantes dibujan una trayectoria de un recorrido o movimiento corporal realizado por ellos sobre el suelo. Percepción del movimiento Tierra-Sol: Proyección de la sombra La actividad plantea una discusión en torno a las sombras sus causas y características, y su relación con el Sol y su movimiento por medio del instrumento Gnomon. Se realizó la observación de la proyección de la sombra en este instrumento usando el Sol (aire libre) y una fuente de luz artificial.
Escamilla (2019)	Pregunta: ¿cómo se liga el uso del instrumento con los modelos que se elaboran?	Ubicación y Movimiento Se realizó la construcción de relojes solares y la actividad de registrar la hora a partir de la sombra proyectada en este instrumento, junto a la discusión que se planteó en torno al instrumento, su uso y sus principios de funcionamiento. Modelos del sistema Tierra-Sol Los estudiantes expresaron sus creencias y supuestos sobre el movimiento del Sol y la Tierra, usando una fuente de luz y una esfera de icopor. Posteriormente realizan una maqueta donde representan el sistema Tierra-Sol.
Astronomía de posición:	Desarrolla los sistemas de coordenadas locales y	Actividades realizadas con estudiantes de pregrado Actividad 1 Test Inicial: conjunto de preguntas que indagan por las

Trabajo	Modelo abordado/ Posición-Movimiento, relación observador- entorno	Actividades realizadas: fases, instrumentos
la relación entre la latitud y el cambio de la observación del firmamento Bautista (2018)	celestes. Visión topocentrica del observador	<p>ideas previas que tienen los estudiantes en cuatro categorías: ubicación, movimiento, estaciones y observación de los astros.</p> <p>Actividad 2 La astronomía y el cine: presentación de dos películas y un video, en el que se busca evidenciar el cambio de las horas de luz, según una locación en el planeta.</p> <p>Actividad 3 Horizonte Local: reconocimiento del entorno y la identificación de las líneas principales que se proyectan en el cielo desde la Tierra (coordenadas).</p> <p>Actividad 4 El movimiento aparente del Sol: se busca identificar el movimiento relativo del Sol en el cielo. Posteriormente se replica el ejercicio con un software de simulación. Posteriormente esta información se relaciona con el horizonte local</p> <p>Actividad 5 Conociendo las estrellas: actividad orientada a identificar y localizar constelaciones por medio de software y una carta celeste.</p> <p>Actividad 6 ¿Estaciones, horas de luz?: Se realiza un montaje que simule el sistema Tierra-Sol y que evidencie como se suceden las estaciones</p> <p>Actividad 7 Test final: tiene la finalidad de ser comparado con el test inicial e identificar categorías emergentes en los resultados, con propósitos propios de la investigación realizada por el autor.</p>
Modelización del día y la noche: experiencia con el grado quinto del colegio José Antonio Galán (MDCN)	<p>Autor identifica los modelos asociados al movimiento, cambios, ubicación y orientación, horizonte-marco de referencia.</p> <p>En el marco teórico, el autor se apoya en un modelo que da cuenta de los movimientos de la Tierra, y recurre a recursos visuales centrados en la Tierra desde una perspectiva extraterrestre.</p>	<p>Evocación del evento</p> <p>Se realiza la búsqueda de características relevantes para el estudiante en el evento a estudiar, desde sus vivencias y entorno físico y natural. Identifican puntos cardinales dentro del aula y en un espacio al aire libre, junto con los puntos en que sale y se pone el Sol. Junto a ello elaboran representaciones graficas que expliquen el amanecer y atardecer.</p> <p>Día y Noche en Bogotá</p> <p>Se hizo evidente a los estudiantes la construcción de relaciones para construir explicaciones en torno a un evento. Para ello los estudiantes elaboran descripciones de los cambios observados durante el día y la noche, en aspectos de su vida cotidiana: trayecto de la casa-colegio, durante las vacaciones, y en otras situaciones que evoquen los estudiantes.</p>
Basto A. (2018)	<p>Posteriormente se apoya en un modelo heliocéntrico para describir la diferencia de luz recibida entre el ecuador y un punto cercano a un polo. Encuentra que coexisten dos modelos, uno en el que se representa la Tierra trasladándose alrededor del Sol y otra en la que los astros son los que se mueven, con la Tierra como referencia.</p> <p>Movimiento: Trayectoria semicircular del Sol oriente-occidente, movimiento Sol y Luna opuestos diametralmente, en una maqueta, el movimiento del Sol es inclinado respecto al observador.</p> <p>Ubicación y Movimiento: mayor comprensión del evento día y noche al colocar el observador en</p>	<p>Modelo del evento</p> <p>Se hacen corresponder las observaciones con elementos verbales y no verbales, a partir de representaciones de la Tierra, desde el lugar ocupado por el estudiante. Los estudiantes elaboran representaciones graficas de la Tierra, en la cual ellos se ubican a partir de los puntos de salida y puesta del Sol. Después elaboran en parejas una representación del horizonte visible para ellos, desde su posición.</p> <p>Comunicación de la vivencia</p> <p>Se comparte la información y las representaciones elaboradas entre los diferentes grupos de estudiantes, a través de espacios de dialogo y participación. En estos los estudiantes exponen sus representaciones gráficas, las justifican y explican</p>

Trabajo	Modelo abordado/ Posición-Movimiento, relación observador- entorno	Actividades realizadas: fases, instrumentos
	<p>la Tierra. Se dificulta cuando se piensa la Tierra desde afuera (extraterrestre)</p> <p>Horizonte-referencia: el estudiante es el punto de referencia, desde el cual ubica lugares y elementos representativos. Establece distinciones entre el cielo y el suelo por medio del horizonte</p>	
<p>Sistemas de referencia en la enseñanza de la Astronomía. Un análisis a partir de una revisión bibliográfica</p> <p>Galperin y Raviolo 2014</p>	<p>El modelo que predomina para describir y explicar los fenómenos astronómicos en los artículos de revistas especializadas y libros sobre la enseñanza de las ciencias (periodo de 10 años anterior a 2014) es el modelo Heliocéntrico (visión extraterrestre)</p> <p>Se concibe que el modelo heliocéntrico describa movimientos “reales”, en los cuales las leyes de la física son enunciadas de modo correcto, en tanto los otros modelos describen movimientos “aparentes”.</p>	<p>No realizan actividades con estudiantes.</p> <p>Analizan 50 artículos sobre la comprensión que tienen estudiantes y maestros en torno a fenómenos astronómicos.</p> <p>Los principales hallazgos fueron:</p> <p>Predomina el uso del sistema heliocéntrico, del cual se afirma en la mayoría de trabajos consultados, que describen en forma “real” el movimiento de los planetas, considerándose validas, en tanto los sistemas topocéntricos describen los movimientos en forma “aparente”. No se hacen claras las razones para elegir un sistema sobre otro.</p> <p>Descripciones topo céntricas, ponen el énfasis en las observaciones a simple vista en la Tierra, y ayuda al estudiante a establecer relaciones desde lo cotidiano.</p> <p>Los trabajos analizados no hacen énfasis en determinar si las dificultades en torno a la comprensión de fenómenos astronómicos, está en relación con el sistema de referencia que se use.</p> <p>Fortalecer el trabajo con sistemas de referencia, destacando que hay varios sistemas de referencia desde los cuales explicarse u fenómeno</p>
<p>Propuesta Didáctica para la enseñanza de la Identificación y posicionamiento de algunos astros, empleando el software Stellarium, en estudiantes de educación media.</p> <p>Galindo (2014)</p>	<p>Se ubica respecto al modelo geocéntrico (coordenadas ecuatoriales y esfera celeste) y el modelo topo céntrico (coordenadas celestes horizontales) topo céntrico</p>	<p>Cambio conceptual como estrategia didáctica, mediante la cual se busca que las ideas previas de los estudiantes se transformen en conocimientos científicos, por un proceso similar al comúnmente conocido como método científico: objeto de estudio, invención de respuestas a la explicación de dichos objetos, planteamiento de hipótesis, que se contrastan para determinar su validez.</p> <p>Sesión 1:</p> <p>Pregunta inicial formulada en forma individual a los estudiantes en torno a la posibilidad de ubicarse por medio de las constelaciones. Posteriormente las respuestas se socializan entre los estudiantes.</p> <p>Sesión 2 y 3:</p> <p>Se realiza la presentación de un recurso digital (herramienta TIC) para el desarrollo del contenido temático (Esfera Celeste, Coordenadas Astronómicas, Cuerpos Celestes, Constelaciones, Puntos Cardinales).</p> <p>Sesión 4:</p> <p>Presentación del software Stellarium. En su ausencia, se propone una salida pedagógica observacional (no se precisa el objeto ni la tarea de observación).</p> <p>Sesión 5:</p> <p>Explicación del uso del software Stellarium, con identificación de constelaciones, visibilidad según la fecha, para un observador en Bogotá.</p> <p>Sesión 6:</p> <p>Discusión con los estudiantes de generalidades que surgen en torno a la observación de algunas constelaciones en el software, y en torno a las diferentes posiciones que representa el software, en relación con los puntos cardinales.</p> <p>Sesión 7:</p> <p>Se revisan las preguntas iniciales y las primeras respuestas para contrastarlas con las ideas que exponen posterior al desarrollo de la actividad en torno a la ubicación a partir de las constelaciones.</p>

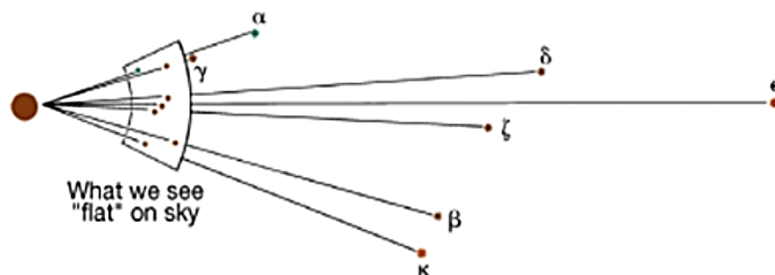
Trabajo	Modelo abordado/ Posición-Movimiento, relación observador- entorno	Actividades realizadas: fases, instrumentos
Propuesta didáctica para la enseñanza de fenómenos de movimiento en el sistema Tierra-Sol-Luna González, 2012	Movimientos de la Tierra, rotación y traslación. Eje de la Tierra está inclinado, y a la vez gira alrededor del Sol junto con otros planetas (modelo Heliocéntrico) La posición de un cuerpo es definida por la relación del mismo con un sistema de referencia físico. Implica las nociones de espacio físico y configuración geométrica.	Desarrollo de una propuesta que tienen como ejes los contenidos en torno a la esfera terrestre, el Sol y la Luna. Junto a cada actividad se plantean preguntas que guían a los estudiantes en el desarrollo de la actividad. Forma de la Tierra: los estudiantes dibujan la Tierra y otros cuerpos celestes, como serían vistos desde un punto exterior a esta Efectos de una Tierra esférica: un estudiante desplaza un barquito de papel sobre una esfera de icopor sin despegarlo, mientras otros estudiante gráficamente el movimiento del barco de papel. Sol-Tierra-Luna: Los estudiantes asocian cada cuerpo celeste a tres esferas de icopor que difieren en tamaño, y las decoran a partir de la información obtenida de fotografías y dibujos. En la esfera que corresponde a la Tierra, describen las principales coordenadas geográficas terrestres, y colocan un eje para señalar el sentido de rotación de la Tierra. Sistema Solar: Complementan la anterior actividad con esferas que representan otros planetas del sistema solar, y los ubican conservando su posición respecto al Sol y otros planetas. Movimiento de traslación: los estudiantes realizan un dibujo en el que representan el Sol, la Tierra con su eje inclinado y los rayos solares incidiendo sobre la Tierra. Sucesión del día la noche: Los estudiantes usan la esfera de la Tierra, y en lugar del Sol colocan una linterna, luego simulan el movimiento de rotación de la Tierra y observan en que momento la zona que corresponde a Colombia está de día y de noche.
Concepciones del día y la noche en los niños y niñas de tercer grado del Liceo Fantasías del saber. Gallego y Motato (2011)	Descripciones que se enmarcan en un modelo galáctico, y que después dan paso a un modelo planetario (sistema solar) y heliocéntrico	Talleres para recopilar información en torno a las concepciones sobre el día y la noche en estudiantes de grado tercero y cuarto. Taller 1: Cuestionario de 11 preguntas abiertas (escritas y dibujos) en torno a la relación que establecen los estudiantes sobre el día-noche, junto a las representaciones que elaboran de estas relaciones (dibujos) Taller 2: Cuestionario de 4 preguntas con dos opciones y respuesta para argumentar una de las opciones, sobre como los estudiantes explican el proceso día-noche. Resultados: Los estudiantes tienen tres ideas acerca del día y la noche como consecuencia del movimiento de rotación de la Tierra, del movimiento del Sol y la Luna (se ocultan para no hacerse visibles), y como consecuencia de la presencia del Sol y la luna. Dicha ideas las han construido desde sus experiencias y observaciones cotidianas y se mezclan con los conocimientos escolares, lo que en ocasiones produce confusiones y contradicciones en las explicaciones que elaboran los estudiantes.
Sol, Tierra y Luna. Movimientos relativos y sus consecuencias Cardenete, 2010	Modelo Heliocéntrico, desde el cual se describe desde el sistema Tierra-Sol-Luna los siguientes eventos: Día-noche Estaciones del año Fases de la luna Eclipses solares y lunares	Propuesta de taller, que gira en torno a las consecuencias de los movimientos de los movimientos del Sol la Tierra y la Luna. Cuestionario introductorio (oral): preguntas en torno a las ideas que tienen los estudiantes en torno a las dimensiones, distancias, movimientos, su relación con las estaciones, y las fases y movimientos de la luna. Día y Noche: se usa en un cuarto oscuro, un proyector de luz, el cual ilumina una esfera que representa la Tierra. Se simulan los movimientos de rotación y se observa la forma que presenta la sombra y el área iluminada en la superficie de la esfera. Se formulan preguntas orientadoras en torno a la zona en la que sale el “Sol”, el sentido de giro, donde ubicar el amanecer y el atardecer, la inclinación de la Tierra y tiempo de duración del día y la noche. Estaciones del año: Los estudiantes dibujan la órbita de la Tierra alrededor del Sol, señalen los equinoccios y solsticios y la inclinación del eje terrestre durante su movimiento alrededor del Sol. Posteriormente se usa un globo terráqueo y con este se formulan preguntas en torno a las estaciones y duración del día en cada estación. Las fases de la Luna: Se usa una esfera que representa la luna, y se procede a representar el movimiento de la Luna alrededor de la Tierra, junto con preguntas en torno al tiempo de traslación de la luna, el

Trabajo	Modelo abordado/ Posición-Movimiento, relación observador- entorno	Actividades realizadas: fases, instrumentos
Del ángulo de la geometría a los ángulos en el cielo. Dificultades para la conceptualización de las coordenadas astronómicas acimut y altura. Lanciano y Camino (2008)	Sistema de coordenadas horizontal (Modelo topo céntrico) Geometría espacial y matemática, sistema de coordenadas topo céntrico Posición: relación entre un cuerpo observado y un sistema de referencia.	cambio de la forma, los nombres de cada una de las formas (fases). Eclipses de Luna y Sol: simulación de eclipses lunares y solares con el uso de esferas que representan la Luna y la Tierra y un proyector en lugar del Sol, acompañado de preguntas orientadoras, en torno a los eclipses (¿Cómo la Luna puede ocultar el Sol si es más pequeña? ¿el eclipse del Sol se ve en todas las partes de la Tierra?). El autor resalta el hecho del escaso uso que se hace en las aulas de prácticas de simulación, como las descritas en el trabajo (esferas y proyector). Se realizó una actividad investigativa con dos grupos de estudiantes (universitario y secundaria) cuyo propósito era identificar las dificultades que presentaban los estudiantes en torno a la conceptualización de los ángulos implicados en la altura y acimut (coordenadas astronómicas) Observación sistemática del cielo: luna, estrellas otros: tomaron registros de las medidas angulares (altura y azimut) y la elaboración de representaciones graficas de las medidas registradas. Instrumentos usados: “sextante” (se usó un transportador con amplitud de 180°, una mirilla y una plomada) y “horinomo” (sombra proyectada por el cuerpo del estudiante en posición vertical) Representaciones graficas realizadas a partir de las observaciones y datos recolectados, donde explican la forma de usar y situar el instrumento, el usuario y el objeto de observación.
La enseñanza/aprendizaje del modelo Sol-Tierra: análisis de la situación actual y propuesta de mejora para la formación de los futuros profesores de primaria. Martínez, 2004	Modelo Sol –Tierra Paso de una visión local a una visión extraterrestre Inventar modelos y ponerlos a prueba Modelos coinciden con los propuestos históricamente (Copérnico, Aristarco) PyM: Duración del día Salida, Puesta, Altura Máxima del Sol	Enseñanza aprendizaje por investigación: propuesta de un programa de actividades en torno a la astronomía, orientada a estudiantes de magisterio Introducir problema: planteamiento de preguntas en torno a el interés en la observación de los movimientos aparentes del Sol, sus cambios y regularidades, y como explicar dichos cambios y los posibles movimientos del Sol y la Tierra. Índice como posible estrategia: se realizan observaciones y se registran cambios en el movimiento del Sol durante una considerable cantidad de días seguidos y se analiza si existen regularidades o cambios Desarrollo de la estrategia: se inventan modelos y se ponen a prueba para ello se desarrollan actividades en torno a situarse y orientarse en la Tierra esférica (paso de visión local a extraterrestre), pruebas con días equinoccios y solsticios, realizar predicciones sobre cualquier lugar de la esfera terrestre. Análisis resultados: actividades no especificadas en torno a la preguntas ¿Qué nos habíamos planteado, ¿que hemos hecho para avanzar? Y ¿cuánto hemos avanzado? Nuevos problemas no especificado
Dificultades en el aprendizaje del modelo Sol-Tierra. Implicaciones Didácticas. Manuel y Montero, 1995	Modelo Sol-Luna-Tierra (heliocéntrico) Imágenes presentan visiones extraterrestres	Se sugieren diferentes actividades retomadas de autores consultados: Situaciones problema: construcción de explicaciones en torno al porque hay verano e invierno y de la causa del día y la noche. Simulación escénica modelo Tierra-Sol: Los estudiantes asumen con sus cuerpos el rol del Sol, la Luna y la Tierra. Simulaciones complejas con objetos: se usan objetos que representan superficies iluminadas, las cuales se inclinan para establecer el área que esta iluminada; el uso de balones y proyectores de luz. Simulación escénica (rol Tierra, Sol, Luna por estudiantes): Iluminación artificial de objetos, Situaciones problema para ser explicados

Fuente: elaboración propia

Anexo 2 Sistema de coordenadas Celestes

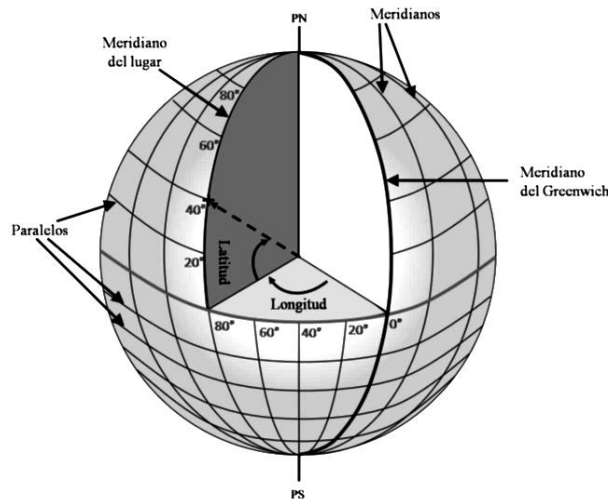
El sistema de coordenadas, es un conjunto de elementos mediante los cuales se determina la posición de un cuerpo en un plano de referencia. La esfera o bóveda celeste es importante ya que constituye dicho plano (o esfera) de referencia. Si bien la esfera celeste refería a una entidad material en la que se encontraban las estrellas, en la astronomía de posición se refiere a una representación matemática no tangible del cielo en que se encuentran proyectados los cuerpos celestes (planetas, estrellas, constelaciones, galaxias, etc.), bajo el supuesto de que dichas proyecciones mantienen la misma distancia del observador (Bakulin, Kononóvich y Moroz, 1987; Venero, 2019). Con esta consideración, la esfera es útil debido a que su forma geométrica mantiene su centro, en el que se ubica el observador, a la misma distancia respecto a diferentes puntos de dicha esfera (Mendoza, 2010).



Proyección de las estrellas (Constelación de Orión) sobre un segmento de la esfera celeste y su visibilidad desde un punto de la Tierra. Fuente: Lisenfled, 2019.

Junto a la esfera celeste, el sistema de coordenadas celestes se construye a partir de la proyección de las coordenadas geográficas en la esfera celeste. Es decir, si las coordenadas geográficas ayudan a determinar la posición del observador sobre la esfera terrestre, al ser proyectados en la esfera celeste, configuran un sistema de coordenadas celestes

Las coordenadas geográficas están conformadas por los polos, meridianos, paralelos, ecuador y círculos tropicales.

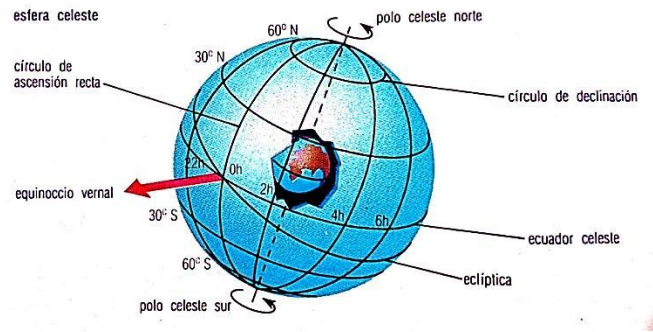


Coordenadas geográficas. Fuente: Mendoza, 2013. Pág. 41.

Las coordenadas ecuatoriales se obtienen cuando se proyectan las coordenadas terrestres sobre la esfera celeste. Los polos terrestres corresponden a los polos celestes, entre los cuales se traza el eje polar, que coincide con el eje terrestre. Para efectos prácticos en cuanto a la medida de un ángulo sobre la esfera terrestre se considera la Tierra como un punto, o se toma como referencia el centro de la Tierra. Respecto al meridiano terrestre, este se proyecta en la esfera celeste dando a lugar al círculo de ascensión recta o círculo horario (otras referencias lo llaman meridiano celeste). El punto 0 corresponde con el punto vernal o punto de piscis, que es el punto por el cual se intersectan el ecuador celeste y la trayectoria del Sol (eclíptica) en su paso del hemisferio sur al hemisferio norte⁴⁷. Sobre este punto de referencia se mide el valor de ascensión recta, que es homólogo a la longitud geográfica. Esta se mide sobre el ecuador celeste, hacia el este. Los valores se dan en horas, entre 0 y 24.

El ecuador terrestre se proyecta sobre la esfera celeste como el ecuador celeste y sigue siendo el punto de referencia para medir la declinación que es homóloga a la latitud geográfica. En este caso la declinación toma valores positivos para cuerpos celestes que están en el hemisferio norte celeste (0° a 90°) y valores negativos (-90° a 0°) para cuerpos que están en el hemisferio sur celeste.

⁴⁷ En la esfera terrestre, se representan los círculos tropicales, que corresponden a las posiciones geográficas en las que el sol alcanza la mayor altura en el cielo, es decir, está a 90° respecto del plano del suelo para un observador ubicado en esa posición. Los círculos tropicales son el trópico de Cáncer (hemisferio norte) y se corresponde con la latitud $23^\circ 26'$ y el trópico de Capricornio (hemisferio sur) y se corresponde con la latitud $23^\circ 26'$ sur. Los trópicos al ser proyectados sobre la esfera celeste, se tocan tangencialmente con la eclíptica.



Coordenadas Celestes Absolutas. Fuente: Ridpath, 1987.

Las coordenadas locales le sirven a un observador como punto de referencia desde su localización, en cualquier punto de la esfera terrestre y los valores varían debido a esa misma condición, lo que hace que sean relativas. Dentro de los elementos que lo conforman se encuentran el cenit, nadir, horizonte, azimut altitud, entre otras. El cenit es el punto de la esfera celeste que se encuentra justo por encima del observador es decir a 90° del suelo en el que está ubicado el observador. Lo anterior quiere decir que para dos observadores en diferentes posiciones, el cenit de cada uno difiere. El nadir se refiere a un punto que esta opuesto al cenit, respecto al observador, es decir se encuentra exactamente por debajo. El horizonte es el plano en el que se encuentra el observador, siendo perpendicular a la línea formada entre el cenit y el nadir.

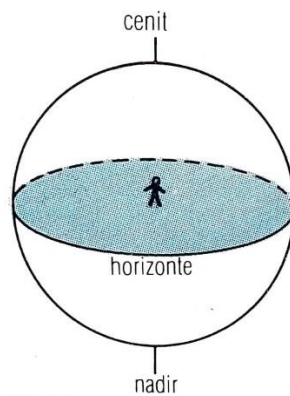


Fig. 59 cenit y nadir. Fuente: Ridpath 1987. p. 10.

La altitud corresponde a la distancia angular vertical, medida entre un objeto celeste y el horizonte del observador. Y el acimut corresponde a la distancia angular medida sobre el plano horizontal entre una línea vertical proyectada por el cuerpo celeste hacia el horizonte y el norte geográfico del horizonte del observador. Este valor se mide en el sentido de las agujas del reloj (inicia en el norte y aumenta el valor pasando primero por

el este, después el sur y por ultimo por el oeste hasta alcanzar de nuevo el norte). Aunque existen otros elementos y términos, no serán abordados siendo suficiente mencionar que otras fuentes ofrecen más detalles al lector (Mendoza, 2010, 2013; Bakulin et al, 1987).

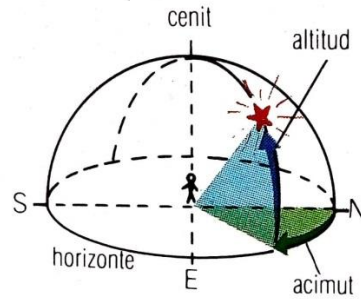


Fig. 60 Altitud y acimut. Fuente: Ridpath, 1987. p. 11.

Anexo 3: Recursos de apoyo para la propuesta de aula.

Recursos Fase 1: Identificación y contextualización del problema de estudio

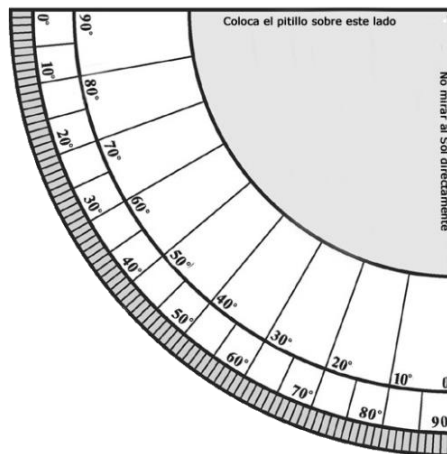
Técnicas grupales de trabajo

Delgado K. (2017) *Siete técnicas grupales de trabajo para dinamizar el aprendizaje en el aula*. Magisterio.com.co. En: <https://www.magisterio.com.co/articulo/siete-tecnicas-grupales-de-trabajo-para-dinamizar-el-aprendizaje-en-el-aula>

Recursos Fase 2 Experiencias y representaciones en torno al fenómeno objeto del problema

Plantilla Cuadrante: por Álvaro José Cano Mejía/ Julio 2009

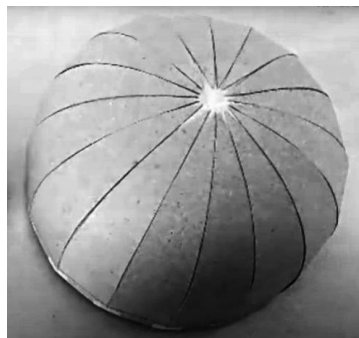
Cano, A. (2019). Taller de Astronomía. En: <https://circuitosolar.files.wordpress.com/2011/02/instrumentoscelestes1.pdf>



Recursos Fase 3: Construcción del modelo

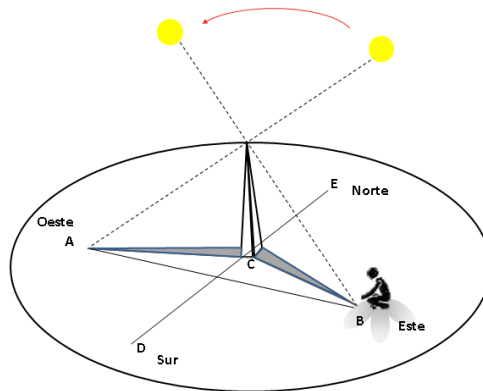
Como elaborar una semiesfera

DenTrueZone. (2018). *CÓMO HACER MEDIA ESFERA DE CARTÓN FÁCILMENTE | DIY* [Video]. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=mlAZjCQz5oE>



Semiesfera. Fuente: DenTrueZone, 2018

Determinar el norte geográfico con un gnomon:



Método de sombras iguales. Fuente: elaboración propia

Se procede a marcar 30 o 20 min antes del mediodía, el extremo de la sombra proyectada por el estilete A y medir su longitud A-C. Después se procede a esperar que pase el mediodía, y la sombra se empieza a proyectar hacia una dirección diferente a la marca inicial. Es necesario medir de forma continua la longitud de la nueva sombra, de forma que alcance la misma distancia de la sombra A-C. Cuando alcance el mismo valor, se marca el extremo de la sombra C-B.

Después se traza una línea entre las marcas realizadas A-B. Luego se traza una línea D-E perpendicular a la línea trazada A-B, que pase justo por el estilete C. Esta línea marca el eje norte-sur. Para determinar cuál extremo corresponde al norte, basta con ubicar a partir de la segunda marca B, el primer extremo de la línea D-E en sentido contrario a las manecillas del reloj, el cual corresponde al norte.

Recursos Fase 4: Puesta a prueba del modelo

Simulador posiciones de los planetas. En línea

Enlace: <http://www.astronoo.com/es/articulos/posiciones-de-los-planetas.html>

Astronoo. (2020). Simulador en línea, órbitas de revolución de los planetas — Astronoo. Recuperado 13 Octubre 2020, de <http://www.astronoo.com/es/articulos/posiciones-de-los-planetas.html>

Simulador epiciclos Ptolomeo (requiere suscripción). En línea

Enlace: <https://www.edumedia-sciences.com/es/media/482-teoria-de-los-epiciclosSimulador>

EduMedia. (2020). Teoría de los epiciclos. Recuperado 13 Octubre 2020 de <https://www.edumedia-sciences.com/es/media/482-teoria-de-los-epiciclos>

Simulador Orbitas elípticas primera ley de Kepler. En línea.

Enlace: https://www.walter-fendt.de/html5/phes/keplerlaw1_es.htm

Fendt, W. (2017). *Primera Ley de Kepler*. *Walter-fendt.de*. Recuperado 13 Octubre 2020, a partir de https://www.walter-fendt.de/html5/phes/keplerlaw1_es.htm

Simulador segunda ley de Kepler En línea.

Enlace: https://www.walter-fendt.de/html5/phes/keplerlaw2_es.htm

Fendt, W. (2017). *Segunda Ley de Kepler*. *Walter-fendt.de*. Recuperado 13 Octubre 2020, a partir de https://www.walter-fendt.de/html5/phes/keplerlaw2_es.htm

Videos Leyes de Kepler.

Enlace video 1: https://www.youtube.com/watch?v=lln0C2--xHk&list=PLOPFAG4mOJ13vJrHoHJkEvqWsAYcat_MY&index=14

Enlace video 2: <https://www.youtube.com/watch?v=sZFGRHarvHk>

QuantumFracture. (2014). *Las Leyes de Kepler en 2 minutos*. Recuperado a partir de https://www.youtube.com/watch?v=lln0C2--xHk&list=PLOPFAG4mOJ13vJrHoHJkEvqWsAYcat_MY&index=14

Ciencias Para Todo. (2016). *LAS LEYES DE KEPLER - Ciencias Para Todo*. Recuperado a partir de <https://www.youtube.com/watch?v=sZFGRHarvHk>