

UNIVERSIDAD DE SÃO PAULO
FACULTAD DE EDUCACIÓN

YADRÁN GÓMEZ-MARTÍNEZ

Configurando narrativas históricas y preguntas directrices para
un abordaje sistémico sobre la Revolución Copernicana

Una propuesta para fortalecer la Alfabetización Científica

São Paulo

2015

YADRÁN GÓMEZ-MARTÍNEZ

Configurando narrativas históricas y preguntas directrices, para
un abordaje sistémico sobre la Revolución Copernicana

Una propuesta para fortalecer la Alfabetización Científica

Disertación de Magíster presentada a la Facultad
de Educación de la Universidad de São Paulo, para
la obtención del grado de Magíster en Educación.

Área de Concentración: Enseñanza de las
Ciencias y las Matemáticas

Orientadora: Dra. Anna Maria Pessoa de Carvalho

São Paulo

2015

Autorizo la reproducción y divulgación total o parcial de este trabajo, por cualquier medio convencional o electrónico, para fines de estudio e investigación, siempre que sea citada la fuente.

Catálogo na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo

-
- 375.2
G633c Gómez Martínez, Yadrán
 Configurando narrativas históricas y preguntas directrices, para un
 abordaje sistémico sobre la Revolución Copernicana: una propuesta para
 fortalecer la Alfabetización Científica / Yadrán Gómez Martínez;
 orientação Anna Maria Pessoa de Carvalho. São Paulo: s. n., 2015.
 210 p. ils.; tabs.; apêndices
- Disertación (Magíster – Programa de Pós-Graduação em Educação.
 Área de Concentração: Enseñanza de las Ciencias y las Matemáticas) - -
 Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo.
1. Alfabetización Científica 2. Naturaleza de la Ciencia 3. Narrativas
 Históricas 4. Preguntas 5. Revolución Copernicana I. Carvalho, Ana
 Maria Pessoa de, orient.
-

Yadrán Gómez-Martínez

Configurando narrativas históricas y preguntas directrices para un abordaje sistémico sobre la Revolución Copernicana. Una propuesta para fortalecer la Alfabetización Científica

Disertación de Magíster presentada a la Facultad de Educación de la Universidad de São Paulo, para la obtención del grado de Magíster en Educación.

Área de Concentración: Enseñanza de las Ciencias y las Matemáticas

Aprobado el ___/___/___

Comisión Examinadora

Dra. Anna Maria Pessoa de Carvalho
(FEUSP)

Dr. Mario Quintanilla Gatica
(PUC-Chile) - Miembro Titular

Dra. Thaís Cyrino de Mello Forato
(UNESP) - Miembro Titular

Dra. Viviane Briccia do Nascimento
(UESC) - Miembro Suplente

Dr. Maurício Pietrocola
(FEUSP) - Miembro Suplente

Dra. Deise Miranda Vianna
(UFRJ) - Miembro Suplente

A mis amados padres, Marcela y Guillermo.

Gratitud por la oportunidad.

AGRADECIMIENTOS

“Sólo existen dos días en el año en que no se puede hacer nada. Uno se llama ayer y otro mañana. Por lo tanto, hoy es el día ideal para amar, crear, hacer y principalmente vivir”

Dalai Lama

Distanciarme miles de kilómetros de mis seres queridos por una convicción, fue una decisión difícil y temeraria, pero creo que – sin dudas – ha sido una de las más certeras que he tenido en esta vida de paso.

Como soy amante de la naturaleza y la aventura, el camino no podía ser exclusivamente en una dirección, sin senderos, ni mucho menos sin obstáculos.

En este viaje, tuve momentos de grandes alegrías, sorpresas, ilusión y satisfacción, pero también hubo aquellos de soledad, angustia, tristeza y desilusión, que por cierto, son parte de un natural proceso continuo de aprendizaje.

Sumado a lo anterior, y porque fueron un pilar fundamental en mi viaje intelectual, emocional y espiritual, agradezco a cada uno(a) de ustedes:

En primer lugar, quisiera agradecer a mi orientadora, Dra. Anna Maria Pessoa de Carvalho, quien tuvo la gentileza de haber aceptado a un aprendiz chileno como su último orientando de postgrado en su carrera académica en la USP. Profesora Anna, gracias por su comprensión, paciencia, respeto, y su constante disposición en ayudar, compartir conocimientos, experiencias, sugerencias y reflexiones, que fueron claves en mi proceso de formación. La herencia de LaPEF llegará a Chile.

Asimismo, expreso mi gratitud a la Dra. Thaís Forato, quien además de ser parte de la comisión jurada del examen de calificación, leer minuciosamente mi trabajo y retroalimentar el mismo, siempre respondió a mis inquietudes, y compartió sabias y pertinentes sugerencias. Profesora Thaís, gracias por su generosa disposición, conocimientos, cariño, respeto, comprensión y humildad.

Al mismo tiempo, no puedo dejar de agradecer al Dr. Mario Quintanilla, quien también formó parte de la comisión jurada del examen de calificación, y retroalimentó mi trabajo desde sus conocimientos y experiencia. Maestro y amigo desde mi proceso

de formación inicial, como siempre, mis agradecimientos por la disposición, ayuda, la sabiduría, el cariño, consejos y profundas conversaciones sobre la vida.

No puedo dejar de agradecer, también, a algunos integrantes del Laboratorio de Investigación y Enseñanza de la Física – LaPEF, quienes además de compartir su tiempo, valores, convicciones, y retroalimentar mi trabajo de investigación desde sus talentos y reflexiones, tuvieron generosas expresiones de cariño y amistad, principalmente, en momentos de angustia. Anna Maria, Lúcia, Anna Paula, Tiago, Leandro(s), Bia, Nicolli, Mayara, Luciana, Arthur y João, mi más sincero cariño, respeto y gratitud. Sé que sólo es el inicio de una gran amistad y colaboración académica Latinoamericana. ¡Los espero en Chile!

Las mismas expresiones de gratitud y cariño para mis amigos y compañeros de camino Ozório, Ana y Marsílvio.

Mis agradecimientos a los profesores Roberto de Andrade Martins, Olival Freire, Osvaldo Pessoa, Igal Galili y Fatih Tasar, quienes a la distancia y desinteresadamente, tuvieron una muy buena disposición en responder mis dudas en momentos de incertidumbre.

También, quisiera agradecer a los(as) profesores(as) que participaron en mi formación académica: Dra. Lúcia Sasseron y Dra. Anna Maria Pessoa de la Facultad de Educación, Dr. Cristiano Mattos, Dra. Jesuina Pacca y Dr. Alberto Villani del Instituto de Física, Dr. Paulo Correia de la Escuela de Artes, Ciencia y Humanidades, y al Dr. Amancio Fica y Dr. Ademir Sales del Instituto de Astronomía, Geofísica y Ciencias Atmosféricas.

Agradezco, también, a los(as) colegas que son parte del Equipo Austral de Investigación en Enseñanza de la Física, Sociedad Chilena de Enseñanza de la Física, Grupo de Reflexión en Enseñanza de las Ciencias e Investigación Aplicada, Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de las Ciencia, y a la Red Latinoamericana de Investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales.

Asimismo, mi agradecimiento al Ministerio de Educación, a la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica, y el Programa del Capital Humano Avanzado, quienes a través del aporte de todos(as) los chilenos(as), pudieron otorgarme una beca de estudio en el extranjero.

Agradezco también al personal de la secretaría de postgrado de la FEUSP por sus orientaciones y ayudas, especialmente, a Marcelo.

Mamá, papá, hermanos, sobrinos y cuñados, una vez más, mi gratitud por la comprensión, el cariño y apoyo incondicional.

Natália Annita, Tarsila y Carolina, su apoyo, cariño y entrega, lo agradeceré por siempre. Gracias por haber permitido que fuera parte de sus vidas.

Miguel, Vito, Pamela, Gustavo, Gonzalo, Jana y Claudia, gracias por su amistad, cariño y apoyo emocional a la distancia.

Mi gratitud a mi inmensa y maravillosa familia internacional que vivió conmigo en la “República 180” durante dos años, quienes además de enseñarme siempre un aspecto nuevo de su(s) cultura(s), compartieron mis instancias de alegrías y triunfos, pero también, comprendieron mis momentos de silencio y angustias.

Por la amistad y por haber hecho que mi camino fuera especial y diferente, agradezco a Claudia, Plinio, Frankly, Yuugo, Mario, Samuel, Miguel, Dania, Fábio, Arlyn, Sebastián, Pamela, Nicolás, Marcos, Jonathan, Lucas, Karlos, Jorge, Luigi, Elena, Tomohiro, Vannia, Diego, Robert, Isaque, Genki, Justin, Takuma y Renato.

Con mucho cariño, humildad y esperanza,
Gratidão!

RESUMEN

GÓMEZ-MARTÍNEZ, Y. **Configurando narrativas históricas y preguntas directrices para un abordaje sistémico sobre la Revolución Copernicana. Una propuesta para fortalecer la Alfabetización Científica.** 2015. Disertación (Magíster) – Facultad de Educación, Universidad de São Paulo, São Paulo, 2015.

En este estudio, tuvimos el objetivo de elaborar narrativas históricas y preguntas guías enmarcadas en la Revolución Copernicana, como un aporte para el fortalecimiento de la Alfabetización Científica (A.C). Sabemos que en un mundo incierto, acelerado, y sujeto a continuas transformaciones, se ha tornado una necesidad imperante, entre otros, promover la generación de recursos y/o espacios que permitan valorar al sujeto en formación en su integralidad. Sobre este escenario, y con base en los aportes teóricos y empíricos de alguno(as) investigadores(as) que han legitimado la A.C, la Naturaleza de la Ciencia (NdC) y la Enseñanza por Investigación como áreas de reflexión, producción y transferencia de conocimiento científico, pudimos elaborar y/o adaptar directrices metodológicas que nortearon nuestras diferentes etapas consolidadas. De esta manera, iniciamos una reconstrucción histórica-epistemológica general sobre algunos hechos enmarcados en la Revolución Copernicana, lo cual, nos permitió reflexionar y seleccionar algunos aspectos acorde a nuestra idea de NdC y convicción de educación que, al final, se materializaron en narrativas históricas y preguntas directrices desde diversos planos de desarrollo del pensamiento científico. Así, como resultado de este proceso, elaboramos 6 narrativas históricas y 126 preguntas directrices (55 en el plano instrumental-operativo, 36 en el plano personal-significativo y 35 en el plano relacional social-cultural). Finalmente, creemos que esta propuesta teórica de carácter pedagógica-didáctica y epistemológica, además de ser un recurso flexible a adaptación para complementar actividades en el aula de ciencias y/o física, se constituye como un material de reflexión o directriz para la producción de otros materiales análogos con base en la investigación didáctica.

Palabras clave: Alfabetización Científica; Naturaleza de la Ciencia; Narrativas Históricas; Preguntas; Revolución Copernicana.

ABSTRACT

GÓMEZ-MARTÍNEZ, Y. **Developing historical narratives and guidelines questions for a systemic approach on the Copernican Revolution. A proposal to strengthen Scientific Literacy.** 2015. Dissertation (Master) – Faculty of Education, University of São Paulo, São Paulo, 2015.

In this study, we had the goal of developing historical narratives and guidelines questions framed in the Copernican Revolution, as a contribution to the strengthening of Scientific Literacy (SL). We know that in an uncertain and fast world, it subject to continuous transformations has become a pressing need, among others, promoting the generation of resources and / or spaces allowing training in the subject in its entirety. On this stage, and based on the theoretical and empirical contributions of some researchers who have legitimized the SL, the Nature of Science (NOS) and the Teaching by Inquiry as areas for reflection, production and transfer of scientific knowledge, we were able to develop and / or adapt methodological guidelines that guided our consolidated different stages. Thereby, we began a historical-epistemological reconstruction on some facts generally framed in the Copernican Revolution, which allowed us to reflect and to select some aspects according to our idea of about NOS and conviction of education materialized in historical narratives, questions and guidelines from many levels of development of scientific thought. Therefore, as a result of this process, we developed 6 historical narratives and 126 guidelines questions (55 in the instrumental-operational level, 36 in the personal-significant level and 35 in the relational-social/cultural level). Finally, we believe that this theoretical proposal of pedagogical-didactic and epistemology character besides being a flexible adaptation resource to complement activities in the science and physics classrooms is constituted as a reflection or guidance material for the production of similar material based on educational research.

Keywords: Scientific Literacy; Nature of Science; Historical Narratives; Questions; Copernican Revolution

ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Modelo de cuadro de objetivos para cada narrativa histórica _____	40
Ilustración 2: Matriz de organización de preguntas por narrativa histórica _____	55
Ilustración 3: Modelo heliocéntrico defendido por Copérnico _____	63
Ilustración 4: Representación del movimiento aparente de Marte con respecto a la Tierra, cuando gira alrededor del Sol _____	64
Ilustración 5: Representación del modelo híbrido de Tycho Brahe _____	81
Ilustración 6: Representación del cuadrante mejorado por Tycho _____	82
Ilustración 7: Representación del cuadrante mural de Tycho Brahe _____	82
Ilustración 8: Representación del sextante de Tycho Brahe _____	83
Ilustración 9: En un mismo intervalo de tiempo, el área barrida A1 por un planeta alrededor del Sol, es igual al área barrida A2 por el mismo planeta _____	95
Ilustración 10: Telescopio mejorado por Galileo _____	102
Ilustración 11: Representación de la Luna observada por Galileo en distintos momentos con el telescopio _____	103
Ilustración 12: Representación del diseño elaborado por Galileo sobre la observación a la constelación de Orión _____	104
Ilustración 13: Representación del diseño elaborado por Galileo sobre la observación a las Pléyades _____	104
Ilustración 14: Representación de “los planetas” (lunas de Júpiter) observado por Galileo) _____	105
Ilustración 15: Representación de Descartes para explicar la tendencia de los _____	117

TABLAS

Tabla 1: Relación entre el tiempo de una revolución planetaria v/s distancia media al Sol 95

Tabla 2: Relación entre el cuadrado del tiempo de una revolución planetaria v/s el cuadrado de la distancia media al Sol _____ 95

Tabla 3: Relación entre el cuadrado del tiempo de una revolución planetaria v/s el cubo de la distancia media al Sol _____ 96

CUADROS

Cuadro 1: Resumen de itinerario metodológico _____	36
Cuadro 2: Nombre de narrativas históricas elaboradas y número de preguntas _____	37
Cuadro 3: Parámetros historiográficos y pedagógicos-didácticos para la elaboración de narrativas históricas _____	39
Cuadro 4: Aspectos a enfatizar y a omitir en cada narrativa histórica _____	47
Cuadro 5: Directrices para la elaboración de preguntas desde los PDPC _____	54
Cuadro 6: Objetivos directrices desde la A.C, para narrativa histórica 1 _____	57
Cuadro 7: Preguntas por PDPC para narrativa histórica 1 _____	68
Cuadro 8: Objetivos directrices desde la A.C, para narrativa histórica 2 _____	69
Cuadro 9: Preguntas por PDPC para narrativa histórica 2 _____	77
Cuadro 10: Objetivos directrices desde la A.C, para narrativa histórica 3 _____	78
Cuadro 11: Preguntas por PDPC para narrativa histórica 3 _____	88
Cuadro 12: Objetivos directrices desde la A.C, para narrativa histórica 4 _____	89
Cuadro 13: Preguntas por PDPC para narrativa histórica 4 _____	99
Cuadro 14: Objetivos directrices desde la A.C, para narrativa histórica 5: _____	100
Cuadro 15: Preguntas por PDPC para narrativa histórica 5 _____	110
Cuadro 16: Objetivos directrices desde la A.C, para narrativa histórica 6 _____	111
Cuadro 17: Preguntas por PDPC para narrativa histórica 6 _____	121

LISTA DE ABREVIATURAS

- AAAS** American Association for the Advancement of Science
- CONICYT** Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica
- GRECIA** Grupo de Reflexión en Enseñanza de las Ciencias e Investigación Aplicada
- LAPEF** Laboratório de Pesquisa e Ensino de Física
- MINEDUC** Ministerio de Educación
- OCDE** Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
- PISA** Programme for International Student Assessment
- SOCHEF** Sociedad Chilena de Enseñanza de la Física
- UNESCO** United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

ÍNDICE

Introducción	1
1. Ámbito problemático de investigación	5
2. Perspectivas teóricas enmarcadas en la Educación Científica	9
2.1 Alfabetización Científica	10
2.1.1 Del foco en la Alfabetización Científica a la importancia del sujeto en formación	12
2.2 Naturaleza de la Ciencia y Enseñanza de las Ciencias	13
2.2.1 Naturaleza de la Ciencia en la Educación Científica	15
2.2.2 Los potenciales beneficios de la naturaleza de las ciencias en la educación científica	18
2.2.3 Aspectos de la NdC adoptados y consideraciones relevantes al incorporarlos en la producción de materiales didácticos o educativos	21
2.3 Narrativas históricas y abordaje investigativo: una vía para el fortalecimiento de la A.C	25
2.3.1 Las narrativas históricas como una estrategia para abordar aspectos de la NdC	26
2.3.2 Abordaje investigativo	27
2.3.3 Algunas consideraciones relevantes antes de continuar	28
2.3.4 Consideraciones para organizar una Enseñanza por Investigación	30
2.3.5 El papel de las preguntas: un instrumento investigativo para trabajar con narrativas históricas	31
3. Orientaciones y decisiones metodológicas	36
3.1 Directrices para la “reconstrucción” histórica-filosófica de algunos trechos de la revolución copernicana (etapa 1)	37
3.2 Orientaciones para la elaboración de narrativas históricas enmarcadas en la Revolución Copernicana (etapa 2)	38
3.3 Orientaciones para la elaboración de preguntas guías con base en narrativas históricas enmarcadas en la Revolución Copernicana (etapa 3)	52
4. Narrativas históricas y preguntas directrices enmarcadas en la Revolución Copernicana. Una propuesta para el fortalecimiento de la A.C	56
4.1 Evidenciando la configuración de objetivos con base a A.C, narrativa histórica y preguntas guías	56
4.1.1 Propuesta 1	57
4.1.2 Propuesta 2	69
4.1.3 Propuesta 3	78
4.1.4 Propuesta 4	89
4.1.5 Propuesta 5	100
4.1.6 Propuesta 6	111
5. Reflexiones finales	122
Apéndice	141

Introducción

Situándonos en el escenario internacional actual, al menos en los últimos 50 años, han sido diversos los documentos oficiales y discursos científicos, gubernamentales, políticos y educativos, que han hecho alusión a la relevancia de la ciencia como un saber estratégico, para el desarrollo social, cultural y económico de los países.

En este sentido, parecer no ser extraño que, a partir de tal legitimación en la sociedad, por una parte, hayan apoyado y promovido la consolidación de diversos equipos y centros de investigación científica y, por otra parte, hayan tornado una obviedad la defensa e incorporación de la ciencia, como un componente necesario en la configuración de la educación formal, para la formación de una ciudadanía científicamente culta, o en palabras de la educación científica, para la formación de sujetos alfabetizados en ciencias.

Sin embargo, en general, aun cuando trascendió la idea sobre la importancia de potencializar una educación científica en la sociedad, el impacto en el mundo, fue divergente – entre otros - por razones inherentes a la evolución histórica de cada contexto socio-cultural, lo que conlleva a un natural desfase en términos de políticas, legitimación, calidad de la educación, cobertura, producción y transferencia de conocimiento en el área.

Con base en esta premisa, y en el marco de la globalización, no interpreto como una novedad la brecha que existe, por ejemplo, en los resultados evidenciados en los estudios comparativos que realiza la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), a través del Programa Internacional de Evaluación de Estudiantes (PISA), el que evalúa competencias en ciencias, matemáticas y lenguaje. En la última evaluación PISA realizada (2012), una vez más, los países de América Latina que forman parte (Chile y México) o colaboran (Brasil y Colombia) en la OCDE, ocuparon los últimos puestos, en comparación al resto de los países del mundo participantes (OCDE, 2012).

No obstante, es deseable ser criterioso(a) si se leen estos resultados a partir de parámetros occidentales u orientales, pues, quien desconoce la evolución histórica de Latinoamérica, podría tener una interpretación ingenua y, desde aquí, no valorar

los múltiples y progresivos esfuerzos que han llevado a cabo diversas personas, equipos y comunidades en busca de un mejoramiento. Con esto, no pretendo victimizar nuestra cultura, sino que, valorar su identidad, progreso, potencialidades y oportunidades de transformación.

Desde esta perspectiva, creo que, si se pretende que el ritmo y calidad de la educación científica Latinoamericana (en sus diversos niveles, esferas y planos de acción), por una parte, garantice condiciones para la formación de ciudadanos(as) activos(as), críticos(as) e integrales y, por otra parte, entre en “resonancia” con la tendencia de países desarrollados, entonces, se torna una imperante necesidad la generación de propuestas y políticas (a nivel micro y macro) que favorezcan una articulación que sea inclusiva, eficaz, que valoren las realidades territoriales, y que canalicen los esfuerzos individuales y/o colectivos.

Por lo tanto, considerando que la expectativa anterior es parte de un proceso que no se reduce a la “aula” y que requiere de una participación activa, diversificada, representativa y democrática, también se torna estrictamente necesaria la distribución equitativa de responsabilidades entre autores, actores y espacios estratégicos, tales como; medios masivos de comunicación, autoridades y organismos gubernamentales, empresas, universidades e institutos, centros de investigación científica y tecnológica, asociaciones y sociedades científicas, investigadores(as), familias, comunidades locales, alumnos(as) y profesores(as).

Por otra parte, si bien esta convicción y lectura sistémica explicitada (utópica para algunos(as)) es el motor que me hace avanzar, también estoy en conocimiento de que las decisiones asumidas por las personas en la vida, inclusive las de carácter académico-profesional, de alguna manera, son influenciadas por las circunstancias políticas, económicas y socio-culturales. Y esta ocasión, no fue diferente.

En el marco de lo anterior, tuve la necesidad de pensar sobre qué y cómo podría contribuir - en la medida de lo posible - a contrarrestar parte de lo problematizado en los párrafos anteriores en esta etapa de formación en la maestría.

No obstante, no debía ser cualquier contribución, pues, necesariamente, debía tener en cuenta algunos aspectos relevantes, tales como; la condición de becario en sólo y estrictamente dos años por la Comisión Nacional de Investigación

Científica y Tecnológica de Chile (CONICYT), las directrices teóricas y metodológicas de mi orientadora quien lidera el Laboratorio de Pesquisa y Enseñanza de la Física (LaPEF) de la Universidad de São Paulo, los objetivos y finalidades de la emergente Sociedad Chilena de Enseñanza de la Física (SOCHEF) de la que soy gestor y socio fundador, y los aprendizajes adquiridos como integrante del Grupo de Reflexión en Enseñanza de las Ciencias e Investigación Didáctica Aplicada (G.R.E.C.I.A) de la Pontificia Universidad Católica de Chile y de la Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de las Ciencias.

Finalmente, el conjunto de elementos contextuales, teóricos, metodológicos e idiosincráticos que nortearon mis acciones y decisiones, se tradujeron en lo que en los párrafos venideros socializaré, y que para favorecer la lectura, lo he organizado de la siguiente manera:

En el capítulo 1, “**ámbito problemático**”, a modo general, problematizo el porqué de la investigación, explicitando la pregunta de investigación y objetivo que guía la presente.

Luego, en el capítulo 2, “**Perspectivas teóricas enmarcadas en la educación científica**”, delimitamos los referenciales teóricos que direccionan nuestra discreta contribución. De esta manera, hacemos un breve abordaje a la Educación en Ciencias y su consolidación en el tiempo, para luego hacer referencia a nuestra definición y defensa sobre Alfabetización Científica, Naturaleza de las Ciencias y la Enseñanza por Investigación. Finalmente, reflexionamos acerca de cómo éstas líneas de producción y transferencia de conocimiento científico, de manera articulada, podrían auxiliar la elaboración de recursos pedagógicos-didácticos, como lo son las narrativas históricas y preguntas guías, que son el principal producto de la presente.

En seguida, en el capítulo 3, “**orientaciones y decisiones metodológicas**”, socializaremos las etapas consolidadas en el proceso de materialización de la presente, haciendo alusión así, a los criterios utilizados para la construcción de las narrativas históricas, como también, sus respectivos cuadros de objetivos y preguntas guías sugeridas para una posible implementación en aula.

Ya en el capítulo 4, “**narrativas históricas y preguntas directrices enmarcadas en la Revolución Copernicana. Una propuesta para el**

fortalecimiento de la A.C”, pondremos en evidencia la producción teórica de carácter pedagógico-didáctico y epistemológico conseguida en la presente, compartiremos así el conjunto de narrativas históricas elaboradas, con sus respectivas preguntas guías sugeridas.

Por último, en el capítulo 5, **“reflexiones finales”**, socializaremos algunos de los aspectos más significativos del proceso de la presente, haciendo alusión a nuestro objetivo, lo que hemos alcanzado y cómo lo hemos hecho, como también, a algunos desafíos y proyecciones de estudio que se tienen con base en esta disertación de maestría.

1. **Ámbito problemático de investigación**

Como ya hice alusión, tuve que determinar el problema y pensar la contribución con base en la realidad socio-cultural del país de origen, es decir, desde el escenario nacional actual en Chile.

En este sentido, creo pertinente indicar que, la Enseñanza de la Física en nuestro contexto, experimenta una crisis, donde algunos(as) de los(as) perjudicados(as) son los(as) estudiantes, profesores(as) e investigadores(as) del área.

Me refiero a crisis, por algunos aspectos que se han explicitado y discutido en el I, II y III Encuentro Nacional de Didáctica de la Física en Chile, realizados el 2013, 2014 y 2015 respectivamente, de los cuales, destaco los siguientes:

1. Aun cuando el área de conocimiento se ha estado consolidando y legitimando desde hace más de 30 años en países con realidades casi análogas, como por ejemplo, Brasil y Argentina, el número de investigadores(as), equipos de investigación, proyectos de colaboración, y organizaciones en el área, en general, son escasas.
2. Una de las consecuencias de lo anterior es que, las directrices y propuestas generadas y/o visadas por el Ministerio de Educación, en su mayoría, sean elaboradas por especialistas de formación general en didáctica, evaluación, currículum o en ciencias, por lo que, en un marco de desconocimiento y/o desactualización, no consideran el conjunto de evidencias de la investigación en el área de Enseñanza de las Ciencias y/o Física.
3. En las universidades, la cultura y herencia cultural, pedagógica y epistemológica en torno a la concepción de educación, de la ciencia y su enseñanza-aprendizaje, conlleva a que muchos de los(as) formadores(as) de profesores(as) de física, en general, por su formación inicial y escaso perfeccionamiento en el área, proyecten una visión simplicista, ingenua y a veces distorsionada sobre la ciencia y su enseñanza.

4. Como producto de lo anterior, y teniendo en cuenta que – en la mayoría de los casos - el propio sistema educativo parece haber reducido el rol del profesor a un actuar técnico por sobre el profesional, no nos deberíamos sorprender que este haya incorporado en su lógica de trabajo la “importancia” del entrenamiento para pruebas estandarizadas en ciencias, por sobre una formación en ciencias para la vida.
5. Es insuficiente el número instituciones y políticas de articulación que asuman un rol al corto, mediano y largo plazo, para la consolidación de un proyecto nacional que tenga como misión la mejora de la educación científica en general, y de la física en particular.
6. Los diversos contenidos científicos son abordados – en la mayoría de los espacios formales de educación- desde una perspectiva que ignora los aspectos históricos, sociológicos y epistemológico que favorecieron (o no) su construcción.

Como es posible percibir, el reto para contrarrestar el complejo escenario en el área, si sitúa en diversos planos y espacios, ocasionando – en cierta medida - una incertidumbre en qué y cómo iniciar con la contribución, y hasta qué punto podía llegar.

Así, en este primer estudio de postgrado, aunque de manera discreta e inacabada, asumí el desafío de aportar con la elaboración de algunos recursos pedagógicos-didácticos con base en la Naturaleza de las Ciencia que, de alguna manera, pudieran orientar y/o auxiliar la planificación de actividades para el aula por parte de los(as) profesores(as) de física y/o ciencias, y a la vez, pudiera constituirse como una potencial contribución para el fortalecimiento de la Alfabetización Científica desde un reconocimiento y valoración integral del sujeto que se forma.

En lo concreto, con base en los Ejes Estructuradores de Alfabetización Científica de Sasseron y Carvalho (2008), y teniendo en cuenta la defensa de las potencialidades de la incorporación estratégica de la Naturaleza de la Ciencia en la educación científica, opté por la elaboración de narrativas históricas (FORATO, 2009; DRUMMOND et al, 2015), las que serían apoyadas por un conjunto de preguntas directrices que valoran diversos planos de desarrollo de pensamiento científico

(LABARRERE; QUINTANILLA, 2002), intentando velar así por la formación y respeto de la integralidad del sujeto.

Por otra parte, tuve el desafío de pensar qué tema abordar en los recursos de apoyo que había asumido elaborar, de tal manera que, pudiera estar dotado de un gran potencial para la auto-formación de profesores(as) y/o formación en estudiantes.

Así, tras varias reflexiones, decidí el abordaje de la *Revolución Copernicana*, la que escogí en base a los siguientes criterios:

1. Engloba contenidos que son propuestos curricularmente por el Ministerio de Educación, tales como; caída de los cuerpos, modelo geocéntrico y heliocéntrico, observaciones astronómicas de Brahe, Leyes de Kepler, gravitación newtoniana.
2. La enseñanza de los contenidos científicos involucrados en este proceso, lamentablemente, se reducen – en su mayoría – a ejercicios matemáticos o memorización de conceptos, olvidando así, el contexto socio-cultural, político y religioso, como también, a otras personas que contribuyeron directa o indirectamente en diferentes periodos.
3. A pesar de haber sido un proceso muy significativo en la historia de la ciencia, no se le otorga una mayor relevancia en los libros educativos de física e investigaciones didácticas.
4. El proceso aludido, en la educación formal, parece no ser interpretado como gran potencial pedagógico-didáctico estratégico para la formación integral de los/las profesores(as) y estudiantes.
5. El tema está relacionado con una de las principales áreas de producción y transferencia de conocimiento científico en Chile: la astronomía.

Por lo tanto, teniendo en cuenta el escenario explicitado, la pregunta que permitió problematizar lo planteado es:

¿Cómo elaborar narrativas históricas y preguntas sobre la Revolución Copernicana, que puedan servir de apoyo o directriz en la planificación de actividades

de aula de física, y que tengan la potencialidad de fortalecer la Alfabetización Científica?

Finalmente, a partir de la pregunta de investigación planteada, el objetivo que direcciona la presente es:

Elaborar narrativas históricas y preguntas guías enmarcadas en la Revolución Copernicana que, potencialmente, puedan fortalecer Alfabetización Científica.

2. Perspectivas teóricas enmarcadas en la Educación Científica

Si nos situamos en el escenario mundial actual, reconocemos que, la ciencia, aun cuando no es la única construcción humana de conocimiento, se ha legitimado en el tiempo – en diversas esferas de desarrollo - como un constructo importante y necesario, para la formación de ciudadanos(as), por lo que vale destacar el rol privilegiado y estratégico que cumple la Educación Científica como área de reflexión, producción y transferencia de conocimiento (AAAS, 1989; UNESCO, 1999; OCDE, 2012).

No obstante, aun cuando valoramos los diversos aportes teóricos y/o empíricos del conjunto de personas, equipos, comunidades e instituciones que han contribuido - en diversos espacios, realidades y planos de acción - para el mejoramiento progresivo de la Educación Científica, también estamos conscientes que aún hay varias metas pendientes, puesto que, en una sociedad caracterizada por la diversidad, incertezas, contradicciones, desarticulaciones, condicionamientos y constantes mudanzas, se hace una imperante necesidad transformar los actuales y venideros procesos educativos.

Desde esta perspectiva, a nuestro parecer, uno de los grandes desafíos que enfrenta la educación científica, es garantizar condiciones para que las nuevas generaciones de niños y jóvenes, independientemente del nivel y contexto educativo, puedan involucrarse en un proceso de Alfabetización Científica de calidad, que además de favorecer la promoción de competencias de pensamiento científico, auxilie el desarrollo y/o fortalecimiento de un pensamiento crítico, divergente y sistémico, pues, los objetivos y finalidades de la educación en ciencias, no deberían reducirse sólo a potencializar habilidades y voluntades para que las personas piensen e interpreten su entorno y el mundo desde la teoría científica, sino que también, para que la encaren de una manera activa, responsable, progresiva y socialmente justa (HYSLOP-MARGISON; THAYER, 2009; KELLY, 2011).

En este contexto, y conforme al objetivo de la presente, en las próximas secciones haremos alusión a una delimitación conceptual sobre la Alfabetización Científica y su importancia en la sociedad, y cómo ésta podría fortalecerse desde el uso intencionado de algunas de las directrices teóricas-metodológicas y evidencias aportadas por la Naturaleza de las Ciencias y el abordaje Investigativo de aula.

2.1 Alfabetización Científica

En el marco de la producción y transferencia de conocimiento científico de la educación en ciencias, son varios(as) los(as) investigadores(as) que hacen referencia a la importancia de la Alfabetización Científica (desde ahora en adelante A.C), como un objetivo o parámetro de la Educación Científica¹.

Eso sí, nos parece pertinente al menos tener en cuenta que, si bien la A.C es citada en diversos estudios y discursos educativos, investigativos y gubernamentales, carece de un consenso en la comunidad científica sobre su definición y alcances, cuya razón no es casual, sino que es propia del histórico pluralismo semántico que ha estado presente en el proceso de consolidación de la Educación Científica (SASSERON; CARVALHO, 2011; NORRIS; PHILLIPS, 2014).

En este contexto, para evitar visiones ingenuas o distorsionadas conceptualmente, usaremos la delimitación de las autoras brasileñas Sasseron y Carvalho (2008), quienes a partir de una revisión y análisis bibliográfico de diversas investigaciones iberoamericanas, francesas e inglesas sobre Alfabetización Científica, por un lado; comprendieron la A.C como un proceso inacabado a lo largo de la vida de las personas y, por otro, consiguieron agrupar los aspectos más significativos y de mayor de frecuencia en tres bloques denominados “Eixos Estruturantes da Alfabetização Científica” (en español, Ejes Estructuradores de la Alfabetización Científica), los que según el entendimiento de ellas, deberían ser considerados en el momento de planificación, elaboración e implementación de propuestas didácticas que procuren la promoción y/o fortalecimiento de la Alfabetización Científica.

El primero de los Ejes Estructuradores, se refiere a la **comprensión básica de términos, conocimientos y conceptos científicos fundamentales**, que según las autoras mencionadas:

[...] concierne a la posibilidad de trabajar con los alumnos la construcción de conocimientos científicos necesarios, para que ellos puedan aplicarlos en situaciones diversas y de modo apropiado en el día a día. Su importancia reside en la necesidad exigida en nuestra sociedad de comprender conceptos clave, como una forma de poder entender incluso pequeñas informaciones y

¹ Vea, por ejemplo: BYBEE, 1995; FOUREZ, 1997; VILCHES; FURIÓ, 1999; CAJAS, 2001; AULER; DELIZOICOV, 2001; ACEVEDO; VÁZQUEZ; MANASSERO, 2003; CAÑAL, 2004; CACHAPUZ et al., 2005; GIL-PÉREZ; VILCHES, 2006; LEMKE, 2006; SASSERON; CARVALHO, 2008; KELLY, 2011; BYBEE, 2014.

situaciones del día a día (SASSERON; CARVALHO, 2011, p.75, traducción nuestra)

El segundo de los Ejes Estructuradores, corresponde a la **comprensión de la naturaleza de la ciencia y de los factores éticos y políticos que circundan su práctica**, la que alude a:

[...] la idea de ciencia como un cuerpo de conocimientos en constante transformación, por medio de proceso de adquisición y análisis de datos, síntesis y decodificación de resultados que originan los saberes [...] este eje, ofrece subsidios para que las características humanas y sociales inherentes a las investigaciones científicas, sean colocados en pauta (SASSERON; CARVALHO, 2011, p.75, traducción nuestra).

El tercer y último de los Ejes Estructuradores de Alfabetización Científica, corresponde a la **comprensión de las relaciones existentes entre Ciencia, Sociedad y Medio Ambiente**, el cual:

[...] trata de la identificación de la interrelación entre estas esferas, y por lo tanto, de la consideración de que la solución inmediata para un problema en una de estas áreas puede representar, más tarde, la aparición de otro problema asociado. Así, este eje, denota la necesidad de comprenderse las aplicaciones de los saberes construidos por las ciencias, considerando las acciones que pueden ser desencadenadas por la utilización de los mismos (SASSERON; CARVALHO, 2011, p.76, traducción nuestra).

De esta manera, Sasseron y Carvalho (2011) defienden que, si las propuestas didácticas se elaboran en base a los tres Ejes Estructuradores explicitados, existe una gran probabilidad de auxiliar integralmente la promoción de la Alfabetización Científica, la que aula, podría “verificarse” a través de la identificación de los indicadores de A.C, tales como: clasificar, seriar, organizar, elaborar y verificar hipótesis, justificar, pronosticar, explicar y argumentar (SASSERON; CARVALHO, 2008).

No obstante, no hacemos una lectura literal de lo anterior, pues, si pensamos en ofrecer condiciones para una formación cultural en ciencias que sea equitativa, de calidad e integral, se hace estrictamente necesario que, los Ejes Estructuradores de la A.C que circundan un tópico científico, sean pensados y seleccionados a partir de una profunda reflexión pedagógica y didáctica.

2.1.1 Del foco en la Alfabetización Científica a la importancia del sujeto en formación

Como ya se hemos mencionado, vivimos en un mundo caracterizado por las aceleradas y permanentes transformaciones, en donde la ciencia y su enseñanza, con su respectivo proceso de generación, transferencia, vínculos e impactos, no ha sido ajena a estas mudanzas.

En función a esto, nos preocupa el hecho de que, aun cuando en los últimos años se han reformulado enfoques y currículos en ciencias, para mejorar los resultados de aprendizaje y/o favorecer el involucramiento progresivo, consciente y responsable de los(as) ciudadanos(as) en cada una de las esferas relacionadas a la ciencia, esta “participación”, es caracterizada por la ingenuidad y/o pasividad social.

Desde este punto de vista, y reconociendo la necesidad imperante de (re)pensar una nueva configuración para la educación científica, creemos relevante tener en cuenta algunos aspectos, como los siguientes:

1. En una sociedad que dice ser democrática, es una imperante estratégica la democratización del conocimiento científico, que valore los diversos intereses, realidades e identidades de las culturas locales.
2. El proceso de Alfabetización Científica, desde una visión naturalizada de las ciencias, es un potencial catalizador de visión reflexiva, crítica e integral de la sociedad.
3. La Alfabetización Científica, al constituirse como un proceso de formación flexible e inacabada que no solamente depende de las contribuciones (o influencias) de los espacios formales de educación, se debería tornar un objetivo compartido como sociedad, que vaya más allá de las aulas y círculos investigativos más elementales.
4. No es importante la Alfabetización Científica en sí misma, sino más bien, las personas inmersas en ese proceso. Desde esta perspectiva, en el proceso de A.C, además de considerar el dominio conceptual y cognitivo, es deseable que esta también respete e incluya componentes valóricos, afectivos e

idiosincráticos, que favorezcan la voluntad de pensar, actuar y transformar – responsablemente - en base a una convicción de bien colectivo.

En este escenario, es pertinente preguntarnos: ¿qué camino(s) podríamos adoptar para fortalecer la A.C desde nuestro campo y oportunidades de acción, para la promoción de agentes de transformación?

Sobre este contexto, si bien desde la investigación teórica y/o empírica no podemos garantizar una respuesta inmediata y totalmente efectiva al desafío explicitado, sí es viable la promoción de espacios y condiciones, para su “consolidación” en el tiempo.

Teniendo en cuenta lo señalado en los párrafos y secciones anteriores, ahora, pasaremos a delimitar los aspectos de la Naturaleza de las Ciencias y del abordaje investigativo de aula que defendemos que, de alguna manera, nos permiten respaldar teóricamente nuestra propuesta, la que siempre es pensada en el marco de la A.C.

2.2 Naturaleza de la Ciencia y Enseñanza de las Ciencias

En primer lugar, cabe indicar que estamos concibiendo la ciencia como una actividad profundamente humana y, por la tanto, como un constructo flexible, cambiante, inacabado y con influencias – aunque con ciertos matices- de los diversos contextos e intereses políticos, ideológicos, religiosos, sociales, culturales, territoriales y económicos (BARONA, 1994; LOMBARDI, 1997; TAMAYO; ORREGO, 2005; IZQUIERDO, 2006; ACEVEDO, 2008; FORATO, 2009; MATTHEWS, 2014).

En este sentido, destacamos que a lo largo de – al menos - los últimos 30 años, se ha tornado casi consensual que, una de las formas para promover la formación de ciudadanos(as) reflexivos(as) y con visión e interpretación holística de las ciencias y de la sociedad, es a través de la inclusión intencionada de las directrices teóricas y metodológicas de la Naturaleza de la Ciencia (desde ahora en adelante

NdC) en los procesos de enseñanza-aprendizaje de las ciencias en general², y de la física educativa en particular³.

No obstante, creemos necesario destacar que, aun cuando se ha legitimado el gran potencial de la NdC para mejorar la calidad de la educación científica, su definición aun genera algunas controversias entre investigadores(as) de educación en ciencias (BAGDONAS; CELESTINO, 2013) que, en lo concreto, se ha traducido en dos tipos de abordajes/defensas diferentes sobre qué asumir por NdC: por una parte, están las personas que defienden una “visión consensual sobre NdC” (MCCOMAS; ALMAZROA; CLOUGH, 1998; GIL-PÉREZ et al., 2001; LEDERMAN, 2007), y por otra, como indican Irzik y Nola (2011), quienes defienden una “visión no consensual de NdC”⁴.

Lo anterior parece interesante de ser discutido, pero por la reciente iniciación de este autor en el área y porque no es foco de la presente, no la efectuaremos. Eso sí, desde ya preferimos una adopción a los aspectos consensuales de NdC, pues, por un lado, esta visión – aunque no absoluta - es acorde a los aspectos que defendemos en la presente (ver la subsección 2.2.3) y, por otro lado, su respaldo –aunque siempre flexible al debate - es mayoritario en la comunidad de investigadores(as) que abordan la NdC en la Enseñanza de las Ciencias.

Pese a no profundizar las diferentes visiones, nos parece interesante – al menos - tener en cuenta que, esta controversia parece ser producto de los posibles abordajes que puede tener la NdC, pues, como señala Martins (1999), la NdC y el quehacer científico, ha sido, es y puede ser pensado y discutido críticamente desde la Historia de la Ciencia, Epistemología de la Ciencia y Filosofía de las Ciencias, cuyos

² Según señalan, por ejemplo: MATTHEWS, 1994; MARTINS, 1999; ABD-EL-KHALICK; LEDERMAN, 2000; CLOUGH, OLSON, 2004; ACEVEDO et al., 2005; ALLCHIN, 2006; IZQUIERDO, 2006; LEDERMAN, 2006; QUINTANILLA, 2007; MCCOMAS, 2008; GARCÍA-CARMONA; VÁZQUEZ; MANASSERO, 2011; ALLCHIN, 2011; MATTHEWS, 2014.

³ Como indican, por ejemplo: VANNUCCHI, 1996; HEERING, 2000; PEDUZZI, 2001; GUERRA; REIS; BRAGA, 2004; ADÚRIZ-BRAVO, 2005; KOPONEN; MÄNTYLÄ, 2006; METZ et al., 2007; FORATO, 2009; FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011; GÓMEZ-MARTÍNEZ; QUINTANILLA; FARFÁN, 2012; SASSERON; BRICCIA; CARVALHO, 2013; TEIXEIRA; FREIRE; GRECA, 2015.

⁴ Sugerimos revisar la discusión sobre los aspectos consensuales y no consensuales de la NdC, la que es desarrollada con profundidad por Bagdonas (2015) en su tesis doctoral en la Universidad de Sao Paulo: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81131/tde-14092015-112555/pt-br.php>

campos especializados con sus respectivas comunidades, en varias ocasiones a lo largo de la historia, han defendido visiones diferentes sobre la ciencia⁵.

Ahora, atendiendo a nuestro objetivo de estudio, y considerando los posibles abordajes sobre NdC indicados por Martins (1999), es pertinente indicar que, en la presente, optamos por un enfoque de carácter histórico-epistemológico de la ciencia, la que ha sido defendida entre distintos(as) investigadores(as) como un abordaje estratégico con gran potencial para la educación científica⁶.

Finalmente, en el marco de lo señalado, en las próximas secciones abordaremos algunos aspectos acorde al capítulo, tales como: (1) algunas investigaciones sobre la NdC en la Educación Científica; (2) los potenciales beneficios de la NdC en la educación científica; (3) algunas consideraciones para usar NdC con finalidades pedagógicas y didácticas; y (4) los aspectos de la NdC que se adoptan en la presente.

2.2.1 Naturaleza de la Ciencia en la Educación Científica

A largo de los años, la incorporación de la NdC en la educación formal, ha aumentado considerablemente, lo que ha quedado evidenciado en el número de investigaciones, proyectos, propuestas de aula, propuestas curriculares, propuestas en la formación de profesores y científicos, número de congresos y organizaciones regionales, nacionales e internacionales, entre otros⁷.

En este contexto, y para tener una visión general del tipo de investigaciones sobre NdC que se han realizado en nuestra área de desarrollo, estimamos pertinente

⁵ Sugerimos ver el capítulo de la “Guerra de las Ciencias” que es socializada y discutida por Bagdonas (2015) en su tesis doctoral: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81131/tde-14092015-112555/pt-br.php>

⁶ Vea, por ejemplo, CARVALHO; CASTRO, 1992; MATTHEWS, 1994; CARVALHO; VANNUCCHI, 2000; BELL et al, 2001; PEDUZZI, 2001; FREIRE, 2002; ADÚRIZ-BRAVO, 2005; ALLCHIN, 2006; MARTINS, 2006; EL-HANI, 2006; LEDERMAN, 2007; CLOUGH; OLSON, 2008; FORATO; 2009; DRUMMOND et al., 2015.

⁷ Sugerimos revisar, por ejemplo:

(1) PUMFREY, 1991; MATTHEWS, 1994; LEDERMAN, 2007; VILAS BOAS et al., 2013; FORATO; GUERRA; BRAGA, 2014.

(2) <http://www.project2061.org/>; <http://hipstwiki.wikifoundry.com/>; <http://ihpst.net/>

señalar tres “categorías” de pesquisas que, de alguna manera, han podido ser sistematizadas por el investigador Norman Lederman:

Categoría 1: Evaluación de las concepciones de estudiantes y profesores sobre la Naturaleza de la Ciencia;

Categoría 2: Desarrollo, implementación y verificación de propuestas visando la mejoría de las concepciones de estudiantes sobre la Naturaleza de las Ciencias;

Categoría 3: Investigaciones sobre las relaciones entre concepciones de profesores, práctica pedagógica y concepciones de estudiantes (LEDERMAN cit. en BAGDONAS, p.31, 2015, traducción nuestra).

En relación a la primera categoría indicada, han sido diversos(as) los(as) investigadores(as) que han intentado identificar las concepciones existentes acerca del trabajo científico, permitiendo así, la caracterización, análisis y evaluación de cómo estas ideas se relacionan o fundamentan en concepciones que se tiene sobre la NdC (SOLBES; TRAVER, 2001; METZ et al., 2007).

Estas investigaciones recientemente aludidas, son estudios que han tenido como foco las posibles concepciones distorsionadas sobre el trabajo científico que, generalmente, se originan en las prácticas descontextualizadas existentes en la sala de aula. Por ejemplo, una investigación realizada por Gil-Pérez et al. (2001) en profesores(as), pudo evidenciar un complejo escenario, reflejado en las siguientes visiones en torno al quehacer científico:

1. Una concepción empírico-inductiva de la ciencia, que refuerza una supuesta neutralidad de la observación y de la experimentación, como también, que deja de considerar el papel de las hipótesis, y del uso del cuerpo de conocimientos ya existentes para el análisis de nuevas situaciones.
2. Una visión rígida, algorítmica e infalible de la ciencia, sobre la cual, un “Método Científico”, sustentaría toda y cualquier investigación, siendo esta constituida de pasos y etapas que podrían ser mecánicamente seguidas.
3. Una visión “aprobemática” de la ciencia que, al mismo tiempo, muestra la idea de una ciencia “ahistórica”.
4. Una concepción de la ciencia como excluyentemente analítica, y enfocada a resolver pequeños problemas que integran y simplifican el todo. Tal visión,

limita la percepción que se puede construir acerca de las relaciones entre los conocimientos.

5. Una visión acumulativa y de crecimiento lineal, dejando de considerar las crisis por las cuales pasan las ciencias, y las remodelaciones venideras de ellas.
6. Una visión individualista y elitista de la ciencia, creyendo que su trabajo, se da a partir de la mente iluminada de una única persona que, generalmente, son hombres e integrantes de clases sociales altas, quienes sólo se ocupan de los quehaceres de la investigación.
7. Una concepción de la ciencia como socialmente neutra, olvidándose de las complejas y extensas relaciones entre las ciencias y la sociedad.

El crítico panorama socializado que hace alusión a una concepción de NdC en profesores(as) hace más de 10 años, lamentablemente, es una realidad vigente en profesores y estudiantes (ABD-EL-KALICK, 2012).

Por otro lado, en relación a las evidencias de la segunda categoría aludida, podríamos destacar que, los “nuevos currículos de ciencias”, en diversos países, ya incluyen las componentes meta-teóricas de la ciencia. A pesar de esto, Lederman (2006), apunta a que una cosa es introducir NdC en los currículos, pero otra es que, los elementos de NdC, sean abordados con calidad y efectividad.

Con respecto a este punto, y en consideración a que los principales actores educativos que materializan los currículos y legitiman las visiones ciencias en el aula son profesores(as), creemos estrictamente necesario tomar en cuenta lo discutido por Santos (1999), o bien, Carvalho y Gil-Pérez (2011), quienes indican que, un(a) profesor(a), no solamente debe saber del contenido que está siendo enseñado, sino que además, deben saber sobre este, o sea, sobre los problemas que originan el conocimiento científico, cuáles fueron las dificultades y obstáculos epistemológicos, conocer las interacciones Ciencia-Tecnología-Sociedad asociadas a esa construcción, y tener conocimiento de los desarrollos recientes y sus perspectivas, para poder transmitir una visión dinámica y humana de la ciencia.

A pesar de las consideraciones anteriores, no deberíamos responsabilizar del todo a los(as) profesores(as) de ciencias y/o física en formación o en ejercicio (MARTINS, 2007), ya que, muchos(as) de ellos(as), aun cuando están conscientes de

sus limitaciones (o falencias) y tienen la intención de mejorar, deben enfrentar múltiples obstáculos de la cultura escolar y socio-culturales que, al final, coartan sus decisiones y oportunidades profesionales e intelectuales, otorgándole así (directa o indirectamente), un rol meramente técnico.

Finalmente, y siguiendo este hilo conductor, no es suficiente que el/la profesor(a) de ciencias y/o física se actualice, y alcance “competencias didácticas” por su cuenta, sino que también, sean las instituciones (primaria, secundaria y superior, y otras instituciones gubernamentales) quienes asuman un rol diferente desde las evidencias y tensiones en el área y la sociedad, y adopten como política, la incorporación de elementos teóricos-metodológicos necesarios en educación en ciencias, como es el caso de la Naturaleza de las Ciencias.

2.2.2 Los potenciales beneficios de la naturaleza de las ciencias en la educación científica

En primer lugar, quisiéramos llamar la atención en que, dependiendo del contexto socio-cultural y/o territorial, parecen existir – al menos – dos realidades sobre las contribuciones que podría traer la incorporación de los elementos de la NdC, ya que, mientras para algunos(as) investigadores(as) y profesores(as) de física, el conocimiento en torno a los potenciales beneficios de la NdC en la educación científica se ha vuelto un tanto evidente en los últimos años, para otros(as), en un marco de desconocimiento, ha tomado un carácter ingenuo, o bien, se ha vuelto una absoluta interrogante.

Sobre este escenario, en los siguientes párrafos, aludiremos la potencial contribución de la NdC, en diferentes niveles y planos de acción.

En primer lugar, como ha señalado Cuellar (2010), la utilización de elementos de la NdC en la enseñanza, como es el caso de la Historia de la Ciencia, permite identificar, seleccionar y organizar información, favoreciendo así, la generación de secuencias coherentes, que den cuenta de la mayoría de los elementos o factores inmersos en el proceso en donde se construye el conocimiento científico. De esta manera, NdC, no solamente permite contextualizar y profundizar sobre y acerca la

ciencia y/o física en el proceso de enseñanza, sino que también, ser un hilo conductor de un conjunto de actividades.

Desde el plano de la enseñanza-aprendizaje de la física y las ciencias, cabe destacar que la utilización de NdC, puede influenciar favorablemente en las predisposiciones de los(as) estudiantes hacia la ciencias y/o física (SOLBES; TRAVER, 1996; CUELLAR, 2010), ya que, cuando estos perciben el significado, y desarrollo humano y socio-cultural de las actividades científicas, tienden a sentir que éstas son mucho más próximas a ellos(as), que no distinguen entre origen, raza y género, y que el error (un miedo constante en ellos(as)), comienza a ser valorado como un elemento natural y de aprendizaje en el proceso de construcción del conocimiento.

En este sentido, la evidencia que socializamos es destacable, principalmente, por dos razones;

1. Una predisposición favorable hacia la física y enseñanza de esta, puede conllevar a que el/la estudiante se sienta más comprometido con su aprendizaje, lo cual, es un elemento clave en el proceso de aprendizaje significativo (SÁNCHEZ, GÓMEZ-MARTÍNEZ; VILLALOBOS, 2014).
2. La actitud favorable hacia la física, es una variable que es potencialmente favorece en la promoción y desarrollo de competencias de pensamiento científico en los(as) estudiantes (GÓMEZ-MARTÍNEZ; QUINTANILLA; LIRES, 2012).

Asimismo, entre las potenciales contribuciones de la NdC en la educación científica, compartimos lo indicado por Vannucchi (1996), Peduzzi (2001) y McComas (2013), quienes – a través del uso de NdC - reconocen una oportunidad para:

- Humanizar la ciencia relacionándola a cuestiones personales, políticas, culturales y éticas;
- relacionar tópicos y disciplinas;
- vincular el desarrollo del pensamiento individual al desarrollo de las ideas científicas, pudiendo auxiliar a los profesores a comprender las dificultades e ideas alternativas de los(as) estudiantes;

- ofrecer bases para los debates educativos relacionados a métodos de enseñanza y currículo;
- contribuir en la comprensión de contenidos específicos, lo que permite superar una visión y repetición sin sentido en base a las matemáticas y las ecuaciones;
- comprender la naturaleza de la actividad científica, explicando la dinámica de la construcción de conocimientos;
- favorecer el desarrollo del razonamiento y pensamiento crítico y creativo;
- mejorar la relación profesor-alumno;
- desmitificar la idea sobre “el método científico” como único y universal.

Asimismo, a partir de la utilización de la NdC, se puede enseñar a los(as) estudiantes a cómo y para qué pensar de manera responsable, crítica, estratégica, integral y divergente, a partir del estudio global y meditabundo de lo que siempre ha estado articulado (o influenciado) dentro de la cultura científica, lo que creemos una imperante necesidad en las actuales y venideras generaciones de niños(as) y jóvenes (KELLY, 2011).

Por otro lado, como de alguna manera ya indicaba Martins (2006), con la inclusión de reconstrucciones y propuestas didácticas en base a la NdC, no solamente son los(as) estudiantes quienes se benefician, sino que también, los(as) profesores(as) e investigadores(as) que las generan y/o implementan, puesto que, muchos de estos aún tienen una mirada ingenua sobre las ciencias y/o física y cómo ésta se relaciona con las múltiples esferas de nuestras diversas culturas.

Por último, estamos convencidos que, estos autores y actores relevantes señalados, al incorporar o considerar poco a poco los elementos meta-científicos en sus reflexiones, prácticas docentes y/o pesquisas venideras, aunque inicialmente sea en un marco de ensayo y error, natural y gradualmente, irán desarrollando y mejorando la calidad de su auto-formación en el área, y desde aquí, adquiriendo una actitud, pensamiento y perfil sistémico de y sobre ciencias, educación y sociedad.

2.2.3 Aspectos de la NdC adoptados y consideraciones relevantes al incorporarlos en la producción de materiales didácticos o educativos

Como mencionamos en la sección 2.2, el abordaje que adoptamos en este trabajo para la NdC, es de carácter histórico-filosófico, cuyo potencial pedagógico para discutir algunas características sobre la NdC en la educación científica, ha sido y es defendido por diversos(as) autores(as)⁸.

Asimismo, en la sección 2.1, señalamos que estábamos siguiendo las directrices de Sasseron y Carvalho (2011) sobre la A.C, por lo que – indirectamente – asumimos una visión sobre la NdC, apuntando a que la ciencia es un *cuerpo de conocimiento en constante transformación*, caracterizado por la *adquisición y análisis de datos, y la síntesis y decodificación de resultados, que producen saberes, cuyo proceso, no está ajeno a factores éticos y políticos*.

No obstante, lo anterior, son apenas algunas características de la NdC, pues, como ya apuntaban Martins (1999), Forato (2009) y Bagdonas (2015), son diversos los aspectos que pueden ser adoptados/defendidos sobre NdC para ser incorporados en la educación en ciencias, por lo que se hace necesaria una delimitación de los mismo (FORATO; MARTINS; PIETROCOLA, 2012).

De esta manera, en complemento a los aspectos indicados por Sasseron y Carvalho (2011), decidimos optar por la consideración de otras de las características de la NdC menos controvertidas (MCCOMAS, 1998; LEDERMAN, 2007), las que mencionamos a continuación:

1. La inexistencia de un método científico único, universal e infalible (PUMFREY, 1991; VANNUCCHI, 1996; GIL-PÉREZ et al., 2001; PEDUZZI, 2001; VITAL; GUERRA, 2014).
2. La naturaleza no ofrece datos suficientes que permitan interpretaciones sin ambigüedades (PUMFREY, 1991; MCCOMAS et al., 1998; FORATO, 2009).

⁸ Para profundizar algunos respaldos teóricos-metodológicos, se pueden revisar algunos autores, como por ejemplo: MATTHEWS, 1995; VANNUCCHI, 1996; ABD-EL-KHALICK; LEDERMAN, 2000; PEDUZZI, 2001; NASCIMENTO, 2003; MARTINS, 2006; LEDERMAN, 2007; CLOGH; OLSON, 2008; FORATO, 2009; FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011; SASSERON; BRICCIA; CARVALHO, 2013; VITAL; GUERRA, 2014; QUINTANILLA; DAZA; CABRERA, 2014; DRUMMOND et al., 2015.

3. La ciencia es una construcción de conocimientos profundamente humana, flexible e influenciada por el contexto socio-cultural de la época (PUMFREY, 1991; GIL-PÉREZ et al., 2001; FORATO, 2009; SASSERON; CARVALHO, 2011).
4. Las teorías científicas no son elaboradas únicamente a partir de la experiencia y el conocimiento científico no se basa enteramente en la observación, evidencia experimental y argumentos racionales (PUMFREY, 1991; FORATO, 2009).
5. La elaboración de hipótesis y el uso de conocimientos ya existentes, cumplen un rol relevante en el análisis de nuevas situaciones (GIL-PÉREZ et al., 2001; SASSERON; CARVALHO, 2011).
6. La ciencia no está ajena a cuestiones éticas y políticas (SASSERON; CARVALHO, 2011).
7. El conocimiento y uso de la técnica, cumple un rol relevante en la producción y transferencia de conocimiento científico (TOSSATO, 2010).

Ahora, teniendo en cuenta nuestro objetivo en la presente, habiendo delimitado los aspectos de la NdC que usaremos, y considerando que hay varios(as) investigadores(as) que han percibido la inadecuación, desafíos y riesgos al construir materiales educativos que pretenden incorporar elementos de la NdC (MARTINS, 2006; FORATO, 2009; HÖTTECKE; SILVA, 2011; VITAL; GUERRA, 2014), se nos hace pertinente la pregunta: ¿qué consideraciones son deseables a tener cuando se produce un material pedagógico-didáctico con base a NdC? (FORATO; MARTINS; PIETROCOLA, 2012).

Antes de responder, creemos estrictamente pertinente y necesario contemplar que, independiente de la línea de investigación que se adopte para producir material de aula o formación, no existen los(as) “recursos/recetas didácticas” que sean exitosas en toda cultura y en todo contexto, que puedan dar respuesta a las diversas problemáticas que hoy enfrenta la educación en general, y de educación científica en particular. No obstante, a partir de profundas reflexiones con base a algunas evidencias y consideraciones socializadas por personas y comunidades, sí podemos dotar los recursos con un potencial significativo en busca de los objetivos planteados.

Ahora, retornando a la tensión apuntada, y de acuerdo al abordaje que asumimos, podemos destacar que, a la hora de producir un recurso educativo que considere un abordaje naturalizado de las ciencias, es deseable tener en cuenta – al menos – algunas de las siguientes consideraciones:

1. Delimitación del abordaje de NdC (MARTINS, 1999) y elección de aspectos de NdC a ser adoptados (FORATO; MARTINS; PIETROCOLA, 2012).
2. Realización de una profunda meta-reflexión en torno a la concepción y formación que se tiene de ciencia y la naturaleza de ésta, puesto que, la producción de un recurso en base a NdC trae, implícita o explícitamente, los valores, creencias y las orientaciones metodológicas de su autor(a) (MARTINS, 2001). En varias ocasiones los(as) autores(as) de un material, ponen en evidencia una visión de ciencias diferente a la que pretenden defender (FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011).
3. Teniendo cuenta la situación anterior, como indica Forato (2009), se hace recomendable el uso de algunos aspectos de la historiografía⁹, como por ejemplo; respetar el contexto histórico y evitar una visión histórica anacrónica¹⁰ y decorativa del pasado (QUINTANILLA, 2006), como por ejemplo;
 - enaltecer la autoridad de individuos, grupos o instituciones del pasado (tipo de anacronismo conocido como Whigismo);
 - romantizar a ciertas personas de la Historia de la Ciencia como héroes (ALLCHIN, 2004);
 - realizar reconstrucciones lineales de episodios de la Historia de la Ciencia, haciendo parecer que hay una receta infalible de hacer ciencia (KUHN, 1997; MARTINS, 2001).
4. Como indican Forato, Pietrocola y Martins (2011), evitar las leyendas como “Eureka de Arquímedes” y la “Manzana de Newton”, pues, si bien podría

⁹ Es recomendable no olvidar que, “la historiografía también es una actividad humana, dinámica, que cambia a lo largo del tiempo, sufre modismos e incorpora valores diferentes y regionalismos” (FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, p. 37, 2011, traducción nuestra).

¹⁰ Según Forato, Pietrocola y Martins (2011), el anacronismo, corresponde a una interpretación del pasado con valores, ideas y creencias de otra época, o mediante normas y padrones actuales.

generar alguna motivación en quien lee, promueven una visión distorsionada de la NdC, como por ejemplo (MARTINS, 2006):

- que la ciencia es hecha por grandes personales;
- que la ciencia es constituida a partir de eventos o episodios específicos, que son los “descubrimientos” realizados por los científicos;
- que cada hecho, independiente de los demás, puede ser estudiando aisladamente.

5. Con base a otras consideraciones de la historiografía contemporánea y la importancia del proceso de transposición didáctica, Forato, Martins y Pietrocola (2012), sugieren tener en cuenta algunos obstáculos estructurales y posibles conflictos, tales como:

- *Selección del contenido histórico*, el que envolvería la evaluación de tópicos extraídos de la Historia de la Ciencia que, de alguna manera, permitan abordar discusiones en torno a los objetivos pedagógico y epistemológicos;
- *Tiempo didáctico*, que sería el tiempo disponible en sala de aula para abordar el contenido histórico seleccionado;
- *Simplificación v/s omisión*, serían decisiones que estarían acorde al nivel de profundidad que se daría(n) al/los contenido(s) histórico(s) seleccionado(s);
- *Relativismo*, el que podría llevar a entender que, por ejemplo, las teorías existentes para explicar fenómenos son sólo opiniones personales;
- *Inadecuación de los trabajos históricos especializados*. El trabajo con primeras fuentes requiere tratamiento por especialistas, por lo que recomienda trabajar con fuentes secundarias;
- *Supuestos beneficios de las historias lineales*. El uso de la linealidad, es una visión padrón ultrapasada, la que no beneficia una comprensión adecuada de la NdC;
- *Falta de formación específica del profesores*;

- *Conflictos, dilemas y riesgos.* Se recomienda reflexionar sobre extensión v/s profundidad; omisión (simplificación versus distorsión); comprensibilidad versus rigor científico; objetivismo versus subjetivismo.
6. Por último, un aspecto significativo es la herencia de la cultura escolar, la que – en general- se apega a prácticas tradicionales (HÖTTECKE; SILVA, 2011).

Es importante notar que, las consideraciones anteriores, son sólo directrices sugeridas (y por cierto, flexibles) que pretenden favorecer una reflexión crítica a la hora de construir materiales educativos con base en NdC.

Por nuestra parte, y de acuerdo al objetivo de este trabajo, hemos considerado algunas de esas sugerencias guías, las que mencionaremos en la sección 3.3, en el marco de las orientaciones y decisiones metodológicas.

Por último, cabe aclarar que, si bien hemos señalado el abordaje y aspectos de la NdC a considerar, aún falta explicitar y relacionar las estrategias que asumiremos para poder materializar nuestras intenciones. Esto será parte del propósito de la siguiente sección.

2.3 Narrativas históricas y abordaje investigativo: una vía para el fortalecimiento de la A.C

Con base al conjunto de contribuciones que han aportado las comunidades que discuten los beneficios de la NdC en la educación en ciencias, en la próxima sección, por una parte, discutiremos el uso de narrativas históricas como una de las formas de materializar nuestro abordaje histórico-epistemológico de la NdC adoptado y, por otra parte, cómo un abordaje investigativo podría contribuir para la elaboración de preguntas guías con base en las narrativas históricas que se generen, las que cargarían el potencial de fortalecer la A.C.

2.3.1 Las narrativas históricas como una estrategia para abordar aspectos de la NdC

Los humanos, podemos organizar nuestros pensamientos de diversas maneras, una de ellas, es a través de narrativas (BRUNER, 1986).

A lo largo de la historia, los relatos reales o las ficciones fueron el vehículo por excelencia para compartir información, cambiar creencias o inspirar comportamientos, por lo que a veces se afirma que, el rasgo más distintivo del ser humano como especie, es su capacidad de contar historias (REVEL; ADÚRIZ-BRAVO; MEINARDI, p. 29, 2013).

En el ámbito de la enseñanza y el aprendizaje, como han señalado McEwan y Egan (2005), las narrativas han tenido y continúan desempeñando un rol significativo.

No obstante, si pensamos en la adopción de narrativas que permitan problematizar la ciencia y características de su naturaleza en la educación, una alternativa adecuada son las narrativas históricas, las que a diferencia de los textos históricos¹¹, corresponden a textos que, al ser transformados con base en algunos aspectos historiográficos y de transposición didáctica (FORATO, 2009), podrían cumplir finalidades pedagógicas y epistemológicas.

Lo anterior, no es reciente en nuestra área, pues ya han sido varios(as) los(as) investigadores(as) que, de alguna manera, han hecho referencia al uso de narrativas históricas como una estrategia pedagógica significativa para discutir – entre otros – algunos aspectos de la NdC (KUBLI, 2001; NORRIS et al., 2005; METZ et al., 2007; KLASSEN, 2007; ADÚRIZ-BRAVO; IZQUIERDO, 2009; FORATO, 2009; SCHIFFER, 2012; VITAL; GUERRA, 2014; DRUMMOND et al., 2015), cuya elección, aparece con una mayor frecuencia en pesquisas didácticas en la educación científica (TEIXEIRA; GRECA; FREIRE, 2012).

No obstante, la construcción de narrativas históricas no es una tarea trivial, pues, si realmente se pretende fortalecer la A.C con base en algunos de los aspectos

¹¹ En el contexto de la inserción de la HFC en la enseñanza, el *texto histórico* hace referencia a textos originales de pensadores y científicos, es decir, fuentes primarias (DRUMMOND et al., 2015).

de la NdC, han de considerarse algunas de las recomendaciones que ya aludimos en la sección anterior.

En este sentido, Allchin (2004), llama la atención en que, las narrativas históricas “mal construidas”, puede ilustrar o promover una concepción de pseudociencia, como por ejemplo, la persistente visión empírico-inductiva sobre la construcción del conocimiento científico con base en verdades absolutas (HOLTON, 2003; ALLCHIN, 2004; MARTINS, 2006; FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011).

Por último, si lo que pretendemos es fortalecer el proceso de A.C, cabría preguntarse: ¿qué otro(s) aspecto(s) habría que tener en cuenta sobre las narrativas históricas?

Creemos pertinente la cuestión anterior, pues, si bien la elaboración de narrativas históricas es una de las etapas más significativas para dotar un recurso educativo con potencial pedagógico-didáctico y epistemológico, el proceso no termina aquí, ya que éstas, aunque consideren las diversas sugerencias para su producción, no garantiza autosuficiencia.

En sentido, otro aspecto a tener en cuenta y que nosotros defenderemos, corresponde a la adopción de un tipo de abordaje a la hora de utilizar narrativas históricas, lo cual, será discutido en la próxima subsección.

2.3.2 Abordaje investigativo

En primer lugar, destacamos que, con base a un conjunto de evidencias y reflexiones de nuestro equipo en LaPEF, uno de los pilares teóricos-metodológicos centrales para el fortalecimiento de la A.C, es el uso de la Enseñanza por Investigación, la que ha sido defendida – aunque con ciertos matices – por diversos(as) investigadores(as)¹² y organismos gubernamentales de diversos contextos¹³.

¹² Veá, por ejemplo en: GARCÍA; CAÑAL DE LEÓN, 1995; BYBEE; GOODRUM, 1999; ABD-EL-KHALICK et al., 2004; AZEVEDO, 2004; ANDERSON, 2002; GRANDY; DUSCHL, 2007; SPRONKENSMTIH; WALKER, 2010; CARVALHO; SOUZA; SASSERON, 2012; CARVALHO, 2013; BELLUCO; CARVALHO, 2014; SOLINO; FERRAZ; SASSERON, 2015.

¹³ Por ejemplo, Abd-El-Kalick (2012), hace referencia a la adopción de la enseñanza por medio de “Inquiry” en las siguientes organizaciones: American Association for the Advancement of Science, 1990;

La planificación, producción e implementación de recursos didácticos con base en la Enseñanza por Investigación, al ser ideados - estratégicamente - con ciertos objetivos y finalidades, puede traer diversas ventajas cognitivas y actitudinales típicas del quehacer científico, ya que, al favorecer un ambiente caracterizado por la elaboración y comprobación de hipótesis, utilización y evaluación de teorías científicas, y análisis y construcción de explicaciones en base a evidencias – de alguna manera - favorecerán la aventura emocional e intelectual en el proceso de Alfabetización Científica (CARVALHO, 2013; FERRAZ; SASSERON, 2014).

En este sentido, Carvalho (2013) señala que, al enseñar ciencias por medio de la investigación, se proporcionan oportunidades y condiciones a los(as) estudiantes para que “observen, comprendan e interpreten” los problemas del mundo, a través de la elaboración de estrategias y planes de acción, lo que podría permitan actuar no solamente dentro del contexto escolar, sino que también, fuera de este.

2.3.3 Algunas consideraciones relevantes antes de continuar

Evitando ser contraproducente, quisiéramos aclarar dos puntos que nos parecen relevantes y pertinentes en relación al tópico que estamos abordando en esta subsección.

1. La Enseñanza por medio de la investigación no es reciente. De hecho, algunos estudios indican que la propuesta de este enfoque en la educación científica, fue introducida por John Dewey a partir de 1910. Asimismo, tenemos la evidencia que, Estados Unidos de América, tras el lanzamiento del Sputnik por Rusia (en ese tiempo URSS) en 1957, desarrolla una innovación curricular en física, biología, química y ciencias de la ciencia, con énfasis en el “pensar y hacer científico”, por lo que pensar en el proceso del “Inquiry”, parecer haber sido lo más pertinente (BARROW, 2006).

CMEC PanCanadian Science Project, 1997; Curriculum Council [Western Australia] 1998; Ministry of Education [Venezuela] 1990; Ministry of Education [Taiwan] 1999; Ministry of National Education [Turkey] 2000; National Research Council [NRC] 1996; National Science Teachers Association, 1982.

Sin embargo, este enfoque en la educación en ciencias no ha estado libre de críticas, por lo que una cuestión que cabe hacernos es: ¿qué habrá motivado a investigadores(as) a persistir en esta defensa por la incorporación del “Inquiry” en la educación científica?

Para comprender esta defensa, es deseable no tener una visión prejuiciosa del pasado, sino que habría que considerar algunos acontecimientos relevantes de los contextos socio-culturales, políticos y educativos en los que estas personas fueron desarrollando sus teorías como, por ejemplo; la escasez de plataformas de reflexión y debate sobre la comprensión e incorporación de las discusiones sobre la ciencia y su naturaleza en la educación científica. No olvidemos que – hasta hoy – las visiones ingenuas sobre ciencia están presentes en estudiantes, profesores de enseñanza básica, media y universitaria (MARTINS, 2006).

De esta manera, si bien aún existen críticas sobre las limitaciones en el uso de la Enseñanza por Investigación (DENG et al., 2011), creemos que su incorporación “efectiva” –entre otros- es producto de un natural proceso de formación y aprendizaje de los(as) profesores(as) y científicos(as), y no de la estrategia didáctica propiamente tal.

Desde esta perspectiva, tenemos la hipótesis de que la incorporación adecuada de la Enseñanza por Investigación, podría continuar mejorando en la medida en que, profesores(as), científicos(as) e investigadores(as), autorregulen su formación y meta-reflexión sobre la ciencia y su naturaleza, hasta volverse una práctica.

2. Considerando nuestra concepción de ciencia y algunos aspectos de su naturaleza que defendemos, la “**Enseñanza por Investigación**” en el marco de la Alfabetización Científica, la comprendemos como **un abordaje didáctico y no un método** (SOLINO; FERRAZ; SASSERON, 2015).

Esto nos parece relevante de mencionar, pues, si bien en algunas producciones o pesquisas teóricas y empíricas en LaPEF se han dado orientaciones a profesores(as) para llevar a cabo procesos investigativos en aula, tales como; presentación de un problema, elaboración y verificación de hipótesis, análisis de

datos, discusión de resultados, etc., no se ha pretendido que tal proceso sea comprendido e implementado como un receta infalible.

2.3.4 Consideraciones para organizar una Enseñanza por Investigación

En primer lugar, como ya lo apuntaban Munford y Lima (2007), es deseable evitar una confusión que se ha evidenciado en relación a la comprensión de la Enseñanza por Investigación, la que estaría relacionada con el hecho de que, este abordaje, se monta exclusivamente en actividades prácticas o experimentales. Esta comprensión, empobrece y trasciende una visión ingenua del abordaje investigativo en términos de materialización y potencialidades (WINDSCHITL; THOMPSON; BRAATEN, 2008).

Es este sentido Carvalho et al., (2014) indica que, para planificar y organizar una Enseñanza por Investigación, existen diversos recursos y actividades que se pueden utilizar/desarrollar, de las cuales, se pueden destacar; la utilización de narrativas y/o texto(s) histórico(s), experiencias de demostraciones investigativas, laboratorio abierto, las aulas de sistematización o textos de apoyo, preguntas y problemas abiertos, recursos tecnológicos, etc., los que – eventualmente- se pueden articular intencionadamente en una Secuencia de Enseñanza Investigativa.

Finalmente, a modo de observación, Carvalho (2013) llama la atención en que, se pueden planificar actividades investigativas, pero éstas sólo se convertirán en Enseñanza Investigativa, si el/la profesor(a) se perfecciona en el abordaje, y desde aquí, organiza sus clases de forma dialogada, generando cuestionamientos que lleven a los(as) estudiantes a reflexionar y argumentar.

Por lo tanto, y de acuerdo al objetivo de este trabajo, cabe la pregunta: ¿cómo articulamos la defensa del abordaje investigativo con un posible uso de narrativas históricas en el marco de la Alfabetización Científica? Intentaremos responder esta pregunta en la siguiente subsección.

2.3.5 El papel de las preguntas: un instrumento investigativo para trabajar con narrativas históricas

La discusión e intentos de articulación entre la Enseñanza por Investigación y los aspectos de la NdC tampoco no es reciente, de hecho, ya era sugerida hace – al menos – 50 años (RUTHERFORD, 1964).

De hecho, existen grupos de pesquisa analizando posibilidades o trabajando en la “simbiosis didáctica” entre la Enseñanza por Investigación y otros abordajes para discutir la NdC. Por ejemplo, Allchin, Andersen y Nielsen (2014), intentan ir más allá de la articulación que buscamos en la presente, pues, para el abordaje de aspectos de la NdC, han intentado una articulación entre casos históricos, actividades investigativas y casos contemporáneos (este último sería un abordaje próximo al CTSA), intentando así suplir las limitaciones de un abordaje con las potencialidades del otro. Si bien no adoptaremos esta propuesta, no descartamos que – en futuros estudios– podamos utilizarla.

Ahora, si pensamos en responder a nuestro objetivo, lo que pretendemos es ofrecer subsidios que – potencialmente – fortalezcan la Alfabetización Científica de profesores y/o estudiantes, que como ya lo hemos explicitado, esperamos que trascienda las comprensiones instrumentales.

Para esto, como ya hemos adelantado, creemos que, uno de los caminos, es el uso de narrativas históricas desde un abordaje investigativo, donde este último, se concretiza a partir de preguntas directrices que, por una parte, puedan movilizar saberes e ideas y, por otra, permitan la inclusión de componentes valóricos, afectivos e idiosincráticos, en un marco de convivencia.

Pero, ¿qué características han de tener estas preguntas?

En primer lugar, las preguntas, de alguna manera, han sido una de las características más relevantes y propias del pensamiento humano (MARQUEZ; ROCA, 2006), las que han permitido producir conocimiento sobre el mundo (BACHELARD, 1948).

Con lo anterior, parece no ser de carácter dubitativo el rol que ha tenido, tiene y tendrá la pregunta en los procesos investigativos, y esto, no es ajeno al ámbito educativo, pues, hay estudios que defienden la relevancia privilegiada que tienen las

preguntas cuando es adoptado el abordaje investigativo en la educación científica (SANDOVAL, 2005; EXPLORATORIUM INSTITUTE FOR INQUIRY, 2006; SOUZA; SASSERON, 2012), las que favorecerían una comprensión de ciencias y sobre ciencias (SOLINO; FERRAZ; SASSERON, 2015).

En este sentido, pero con abordajes diferentes, han sido varios(as) los(as) estudiosos(as) en el área de enseñanza de las ciencias que han defendido el uso de preguntas¹⁴, como un potente instrumento de reflexión que – en cierta medida – favorece el logro de propósitos pedagógicos-didácticos (DILLON, 1985; ROCA, 2005; CHIN, 2007; CLOUGH, 2007; SOUZA, 2012; JOGLAR, 2014).

Eso sí, es relevante tener en cuenta que crear preguntas es un proceso complejo. La elaboración de una “buena pregunta”, es un verdadero desafío, pues, no hay recetas para elaborar estas “buenas preguntas en el aula” (ROCA, 2005; JOGLAR, 2014) que garanticen la libertad en la que pensaba su autor(a) a la hora de elaboración, por lo que se torna necesario seguir algunas orientaciones que han sido sugeridas en la literatura (alguna serán mencionadas en la sección 3.3).

Ahora, como pretendemos colaborar en la formación de ciencias y sobre ciencias de las personas, creemos que el tipo de preguntas más pertinentes, son aquellas que permiten al sujeto situarse en diversos niveles del pensamiento y comprensión de realidades.

Como sugiere D’Ambrosio (2007), es deseable que colaboremos en la percepción que los humanos tienen de sí mismo, tales como: (i) una realidad individual enfocado en la conciencia de sus dimensiones sensoriales, intuitivas, emocionales y racionales, (ii) una realidad social, reconociendo la esencialidad del otro, (iii) una realidad planetaria, aprendiendo de su dependencia de la herencia cultural y natural, y consciente de su responsabilidad para su preservación y (iv) una realidad cósmica, asumiendo el impulso para trascender espacio y tiempo, y su propia existencia, buscando explicaciones, historicidad y diseños para el futuro.

¹⁴ Se sugiere ver la revisión que ha realizado Joglar (2014) en su tesis doctoral en la Pontificia Universidad Católica de Chile, donde profundiza sobre las preguntas en la enseñanza de las ciencias. <http://www.sociedadbellaterra.cl/wp-content/uploads/downloads/2015/04/Tesis-Doctoral-Carol-Joglar.pdf>

Con todo lo anterior, creemos que, una de las vías para estimular una comprensión holística en ambientes restrictivos, es a partir del uso de preguntas que sigan las directrices de los diversos Planos de Desarrollo del Pensamiento Científico (Desde ahora, PDPC) propuesto por Labarrere y Quintanilla (2002), pues su consideración - entre otros - permite:

[...] alcanzar transformaciones profundas, no sólo en sus estructuras de conocimientos específicos y de los recursos formales, axiomáticos y/o heurísticos, sino sobre todo en aquellas que definen el sentido personal de esa actividad y las posibilidades de operar sobre su propio desarrollo a través de ella en un ambiente de comprensión teórica de las mismas actividades y de los criterios u obstáculos para lograrlas, en un proceso de autorregulación sistemático de los aprendizajes (LABARRERE; QUINTANILLA, 2002, p.124).

Para comprender estos PDPC, habría que partir de una de las premisas de uno de los autores:

Al pensar, el hombre penetra en capas ocultas de la realidad, establece relaciones no sólo superficiales entre las cosas; sino aquellas que no son accesibles en la inspección primaria y elemental de las cosas; y que para ser evidenciadas, requieren del despliegue de una intensa actividad no sólo mental (cognitiva); sino también práctica y emocional, pues al pensamiento le es consustancial la emoción y el sentimiento, no construye un proceso meramente "cognitivo" (LABARRERE, 2012, p.50).

Esto nos parece muy significativo, pues, como ya aludimos en la presente, al pensar en fortalecer la A.C, no imaginamos que esta sea importante por sí misma, sino que, los sujetos inmersos en este proceso, lo cual, conecta muy bien con las ideas sobre el pensamiento de Rubinstein (1963), quien aclaraba que no es el pensamiento el que piensa, sino que la persona. En otras palabras, cuando hablamos de pensar, es un requisito comprender al ser humano (que piensa) como un todo, con sus necesidades, vivencias, motivos, actitudes, entre otros (LABARRERE, 2012).

Con lo anterior, para estimular y valorar el nivel y diversidad de pensamientos, Labarrere y Quintanilla (2002), proponen la adopción y abordaje de tres planos de desarrollo para el aula de ciencias: el instrumental-operativo, el personal-significativo y el relacional-social o cultural.

1. El **plano instrumental-operativo**, identifica aquellos momentos o fragmentos del enfrentamiento y solución de los problemas en que los recursos del sujeto o del grupo que los resuelve están centrados en aspectos tales como el contenido, las relaciones que lo caracterizan, las soluciones posibles y las estrategias, procedimientos, y así por el estilo. Cuando actúan en el plano instrumental-operativo los sujetos intentan representarse aquello de qué se trata en el problema, las relaciones que mantienen entre sí los datos, a la vez que activan sus bases de conocimientos estratégicos relativos a los modos de solución, es decir, los instrumentos que convencionalmente posibilitan la solución de dichos problemas de acuerdo a la formalización característica de la ciencia en este plano (fórmulas, cálculos, gráficos, tablas de datos, axiomas, etc.).
2. En **plano personal-significativo**, los procesos y estados personales de quien resuelve el problema resultan ser los relevantes y la atención del sujeto deja a un lado el análisis de la situación, la búsqueda activa de instrumentos, las representaciones de finalidades vinculadas con la solución esperada y se centra en la persona, como sujeto de la solución. Desde nuestro punto de vista, cuando se habla de la existencia del plano personal y del movimiento del sujeto por él, se introduce la existencia de un espacio en el que actúan y se generan los sentidos o significados personales, vinculados con la experiencia personal y los contextos cotidianos de solución de problemas científicos.
3. El **plano relacional-social (o cultural)**, es identificado como espacio generado en la solución grupal de problemas o en la interacción netamente pedagógica, hace referencia no sólo a las relaciones que constituyen la trama que se teje en los procesos comunicativos de los alumnos, sino también al conocimiento y la representación que los sujetos tienen de esas interacciones, así como al dominio y la conciencia que ellos alcanzan respecto a la producción de relaciones deseables, ya sea para la solución de los problemas en cuestión o para los propios procesos formativos en los cuales están involucrados. (LABARRERE; QUINTANILLA, 2002, p.126-127)

A modo de aclaración, es importante tener presente que, la separación de planos de desarrollo de pensamiento, sólo cumplen una finalidad pedagógica-didáctica, la cual permite – aunque siempre con limitaciones - comprender y/o favorecer partes de un todo.

Por último, y de acuerdo a nuestros propósitos, es muy relevante tener en cuenta que, la idea expuesta, no pretende sugerir la formulación de preguntas desde un plano en exclusivo, sino que favorecer intencionadamente un flujo por los tres planos por parte de los estudiantes (LABARRERE; QUINTANILLA, 2002; JOGLAR, 2014), de tal manera que, se favorezca un despliegue meta-cognitivo que promueva el desarrollo del pensamiento desde una dimensión más amplia (LABARRERE, 2012), valorando así la integralidad del sujeto (NARANJO, 2013).

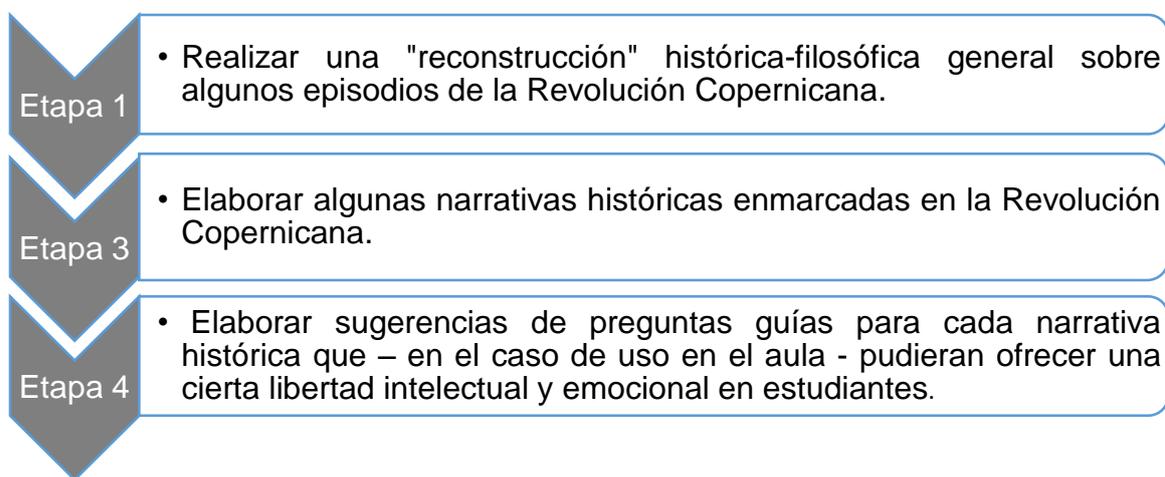
Y ahora, ¿cómo elaboramos las preguntas con base a narrativas históricas que sigan las directrices de los PDPC?

Esta es una de las preguntas que intentaremos responder en la sección 3.3 del próximo capítulo.

3. Orientaciones y decisiones metodológicas

Como ya lo hemos indicado, el objetivo de la presente disertación de maestría es *elaborar narrativas históricas y preguntas guías enmarcadas la Revolución Copernicana que, potencialmente, puedan fortalecer Alfabetización Científica*, la que pretendemos como una propuesta de carácter teórica, con potenciales contribuciones pedagógicas-didácticas y epistemológicas.

Si bien la construcción de la presente la montamos en un marco de dudas, incertidumbres y mudanzas, a continuación, señalamos las etapas más relevantes para alcanzar el objetivo planteado:



Cuadro 1: Resumen de itinerario metodológico

Como producto de este proceso, pudimos elaborar 6 narrativas históricas y 126 preguntas guías, las que podemos representar en el siguiente cuadro.

Nombre de la narrativa histórica	Número de preguntas por PDPC		
	Instrumental-Operativo	Personal-Significativo	Relacional – Social o Cultural
1. <i>Copérnico y el resurgir de la idea heliocéntrica de universo: el inicio de una revolución "científica"</i>	10	4	6
2. <i>Sí, Giordano Bruno, fue adepto al heliocentrismo, pero, ¿fue mártir por la defensa de éste?</i>	6	6	4
3. <i>Si Brahe no era adepto al heliocentrismo, ¿qué sentido tiene</i>	12	8	9

<i>estudiarlo en el marco de la Revolución Copernicana?</i>			
<i>4. Una aproximación a la génesis de las leyes de movimiento planetario Johannes Kepler</i>	10	7	6
<i>5. Galileo y el mejoramiento del telescopio. Contribuciones y controversias</i>	10	6	5
<i>6. Desmitificando el episodio de la manzana de Newton: ¿qué historia me han contado?</i>	7	5	5

Cuadro 2: Nombre de narrativas históricas elaboradas y número de preguntas

Pero, ¿cuáles fueron las consideraciones que tuvimos en las etapas del camino que adoptamos? Esto lo socializamos en las próximas subsecciones.

3.1 Directrices para la “reconstrucción” histórica-filosófica de algunos trechos de la revolución copernicana (etapa 1)

Para materializar la “reconstrucción” histórica-filosófica (general) sobre parte de la Revolución Copernicana, tuvimos las siguientes consideraciones:

1. Estamos conscientes de no poseer dominio de los métodos de búsqueda, análisis y sistematización de información utilizados por historiadores, epistemólogos y sociólogos de la ciencia, por lo que evitamos trabajar con fuentes primarias. En concordancia a esto, lo que decidimos, fue utilizar fuentes secundarias y terciarias, evitando las de carácter divulgativo.
2. Evitamos reproducir visiones ingenuas de la ciencia, por lo que consideramos algunas recomendaciones que ya indicamos en la subsección 2.2.3. Aun así, hubo obstáculos y algunas contradicciones inconscientes a la hora de escribir, que por cierto, hicimos un intento por superarlas.
3. Este proceso de “reconstrucción”, siempre lo comprendimos como inacabado y flexible a modificaciones.
4. Sabemos muy bien que, en diversas culturas del mundo, también hubo producción de conocimiento relacionado a su cosmovisión, el que es tan

importante como aquel generado en Occidente. En este sentido, quisiéramos expresar que, nuestro abordaje de carácter “euro-céntrico”, es principalmente por una coherencia con las directrices curriculares de Chile. No obstante, en futuros estudios, creemos pertinente un abordaje explícito que valore conocimientos construido por otras culturas, como por ejemplo; la Maya, Inca, Mapuche, etc., reconociendo y valorando –entre otros- una Epistemología del Sur (SANTOS, 2009).

La reconstrucción histórica-filosófica fue generada con el objetivo de tener un panorama general de lo que significó la Revolución Copernicana; para pensar y decidir los objetivos de ciencia y sobre ciencias que –potencialmente – se podrían alcanzar en el caso de utilizar esta Revolución “Científica” y, desde aquí, seleccionar trechos que pudieran materializarse en narrativas históricas, como un recurso de formación y/o auto-formación a ser usado por profesores(as) de ciencias y/o física para fortalecer la Alfabetización Científica.

Cabe indicar que, en el caso de ser usada esta reconstrucción histórica-filosófica (ver apéndice 1), recomendamos que sea revisada y adaptada a los objetivos que se persiguen, visando los aspectos que, por ejemplo, daremos a conocer en la siguiente subsección.

3.2 Orientaciones para la elaboración de narrativas históricas enmarcadas en la Revolución Copernicana (etapa 2)

Para elaborar las narrativas históricas, tuvimos en cuenta algunos de los parámetros sugeridos por Forato (2009), los que fueron adaptados como aparece en el cuadro 3:

Algunos parámetros para la construcción de narrativas históricas	<i>Directrices Pedagógico-didácticas</i>	<p>D1. Definir los objetivos pedagógicos-didácticos que se pretenden promover.</p> <p>D2. Identificar y seleccionar el/los contenido(s) histórico(s) que puedan favorecer la promoción de los objetivos pedagógicos-didácticos y epistemológicos propuestos.</p> <p>D3. Definir el nivel de profundidad y formulación discursiva del manuscrito acorde al público objetivo.</p> <p>D4. Identificar los conocimientos previos (matemáticos, físicos, históricos y/o epistemológicos) necesarios para la comprensión de y sobre los contenidos en pauta.</p> <p>D5. Tener en cuenta las funciones sociales del conocimiento académico y de los saberes escolares.</p>
	<i>Directrices historiográficas</i>	<p>D6. Explicitar la concepción de ciencia y aspectos de NdC a abordar.</p> <p>D7. Definir los aspectos a enfatizar y a omitir para cada contenido y el contexto de su producción.</p> <p>D8. Escribir la narrativa histórica visando: respeto por el contexto histórico; abordaje diacrónico de contenidos y modos de pensar de filósofos o científicos; una reflexión sobre la coherencia entre los aspectos de NdC que se defienden y lo que se escribe.</p>

Cuadro 3: *Parámetros historiográficos y pedagógicos-didácticos para la elaboración de narrativas históricas*

D1. Definir los objetivos pedagógicos-didácticos y epistemológicos que se pretenden promover:

Una de las directrices para elaborar las narrativas históricas, es la definición de objetivos, pero, esto difícilmente se pueda establecer sin una profunda reflexión.

Así, es pertinente socializar que, el establecimiento de objetivos deseados a promover, fue a partir de las siguientes consideraciones:

1. Si bien el material elaborado, por la extensión y profundidad, fue pensado para el uso y/o (auto)formación de profesores(as) que aborden algún tema de física y/o astronomía enmarcado en la Revolución Copernicana, pensamos que – indirectamente – podrían llegar adaptados a la sala de aula.
2. Tuvimos presente el contenido curricular. En este sentido, y en conocimiento que la “Revolución Copernicana” propiamente tal no aparece para ser abordada en secundaria, pusimos una mayor atención en aquellos tópicos que se

enmarcan en este proceso, como por ejemplo; caída de los cuerpos, modelo geocéntrico y heliocéntrico, observaciones de Brahe, Leyes de Kepler, gravitación newtoniana.

3. Tuvimos en cuenta nuestra concepción y defensa de algunas características de la NdC, las que se mencionarán en “D6” de esta sección.
4. Finalmente, consideramos los Ejes Estructuradores de Alfabetización Científica (SASSERON; CARVALHO, 2008), en particular, los dos primeros: *Comprensión básica de términos, conocimientos y conceptos científicos fundamentales* (E1), y *Comprensión de la naturaleza de las ciencias y de los factores éticos y políticos que circundan su práctica* (E2).

Estos Ejes, además de favorecer nuestra reflexión en torno a los propósitos y objetivos deseados con el uso de narrativas históricas, permitió generar un cuadro directriz de objetivos, el que –eventualmente – pudiera ser usado por el/la profesor(a).

El formato del cuadro directriz de objetivos que hemos utilizado para cada narrativa histórica, tiene la siguiente forma:

Narrativa histórica “x” “...”		
Objetivo general		
Eje de Alfabetización Científica a promover	Eje 1 “Conceptos y conocimientos científicos”	
	Eje 2 “Naturaleza de las Ciencias”	

Ilustración 1: Modelo de cuadro de objetivos para cada narrativa histórica

Fuente: elaborado por el autor

D2. Identificar y seleccionar el/los contenido(s) histórico(s) que puedan favorecer la promoción de los objetivos pedagógicos-didácticos y epistemológicos propuestos:

Con base en la reconstrucción histórica-filosófica inicialmente elaborada sobre la Revolución Copernicana, habiendo percibido el potencial de este proceso histórico en la educación científica, y teniendo en cuenta las reflexiones sobre objetivos pedagógicos-didácticos y epistemológicos deseados, optamos por abordar:

Algunos aspectos sobre la trayectoria del tránsito del modelo cosmológico aristotélico-ptolemaico a partir del resurgimiento de la idea heliocéntrica con la defensa de Nicolás Copérnico; el contexto, apoyo y ampliación de la idea heliocéntrica, como por ejemplo, la de Giordano Bruno; la importancia de las evidencias, la técnica, observaciones astronómicas y consideraciones metodológicas de Tycho Brahe como legitimador indirecto del heliocentrismo; Kepler, el uso de los datos brahianos y la elaboración de leyes en relación al movimiento de los planetas; mejoramiento del telescopio, contexto de desarrollo y obtención de algunas evidencias por Galileo para su aporte-entre otros- en mecánica y astronomía; y un breve abordaje sobre algunos aspectos de la gravedad terrestre en el episodio de la manzana de Isaac Newton.

D3. Evaluar el nivel de profundidad y formulación discursiva del manuscrito acorde al público objetivo:

Si bien las narrativas están pensadas como un recurso a ser usado por profesores(as), también creemos que estas podrían adaptarse para su uso en enseñanza secundaria. En este sentido, asumimos el desafío de realizar algunas profundizaciones en las narrativas, pero evitando el uso de un léxico técnico y matemáticas.

D4. Identificar los conocimientos previos (matemáticos, físicos, históricos y/o epistemológicos) necesarios para la comprensión de y sobre los contenidos en pauta:

Para el abordaje de los tópicos enmarcados en la Revolución Copernicana, evitamos el uso de matemática y geometría avanzada usada por algunos pensadores, por lo que no existen “pre-requisitos” en esta línea, al menos que los lectores quisieran profundizar por su cuenta en las obras primarias.

Ahora, con la finalidad de ampliar la formación de profesores(as) sobre la historia de la ciencia, siempre creemos pertinente el conocimiento sobre algunos aspectos o episodios relacionados a mecánica celeste y terrestre que ocurrieron en la Antigüedad y Edad Media, principalmente, los relacionados a física, astronomía y cosmología¹⁵.

D5. Tener en cuenta las funciones sociales del conocimiento académico y de los saberes escolares:

Como lo hemos mencionado, cuando pensamos en las narrativas históricas, tenemos en cuenta el alcance de ésta en los círculos de actores en la educación científica, por lo que hicimos un mayor esfuerzo de entregar potenciales subsidios para favorecer la reflexión y el pensamiento crítico, enfatizando algunos aspectos de la NdC.

D6. Explicitar la concepción de ciencia y aspectos de NdC a abordar:

Estamos concibiendo la ciencia como una actividad profundamente humana y, por la tanto, como un constructo flexible, cambiante, inacabado y con influencias – aunque con ciertos matices- de los diversos contextos e intereses políticos, ideológicos, religiosos, sociales, culturales, territoriales y económicos.

Ahora, intentando evitar el complejo panorama evidenciado por Gil-Pérez et al. (2001), tal como indicamos en la subsección 2.2.3, priorizamos los siguientes aspectos de NdC:

- La inexistencia de un método científico único, universal e infalible (PUMFREY, 1991; VANNUCCHI, 1996; GIL-PÉREZ et al., 2001; PEDUZZI, 2001; QUINTANILLA, 2007; VITAL; GUERRA, 2014).
- La naturaleza no ofrece datos suficientes que permitan interpretaciones sin ambigüedades (PUMFREY, 1991; MCCOMAS et al., 1998; FORATO, 2009).

¹⁵ Recomendamos la lectura de “*Commentariolus - pequeno comentário de Nicolau Copérnico sobre suas próprias hipóteses acerca dos movimentos celestes*”, una traducción y notas del físico e historiador de la ciencia Roberto de Andrade Martins, quien socializa algunos aspectos de la Antigüedad y Edad Media, para que los lectores puedan comprender qué significaba la “nueva” propuesta de Copérnico en la época.

- La ciencia es una construcción de conocimientos profundamente humana, colectiva, flexible e influenciada por el contexto socio-cultural de la época (PUMFREY, 1991; GIL-PÉREZ et al., 2001; QUINTANILLA, 2006; FORATO, 2009; SASSERON; CARVALHO, 2011).
- Las teorías científicas no son elaboradas únicamente a partir de la experiencia, y el conocimiento científico no se basa enteramente en la observación, evidencia experimental y argumentos racionales (PUMFREY, 1991; FORATO, 2009).
- La elaboración de hipótesis y el uso de conocimientos ya existentes, cumplen un rol relevante en el análisis de nuevas situaciones (GIL-PÉREZ et al., 2001; SASSERON; CARVALHO, 2011).
- La ciencia no está ajena a cuestiones éticas y políticas (SASSERON; CARVALHO, 2011).
- El conocimiento y uso de la técnica, cumple un rol relevante en la producción y transferencia de conocimiento científico (CARRASCOSA et al., 2005; TOSSATO, 2010).

A modo de comentario, quisiéramos señalar que estos aspectos de la NdC, pretenden ser abordados considerando el conjunto de narrativas históricas y no una en particular. Asimismo, un mismo objetivo asociado a los aspectos que defendemos sobre NdC, puede aparecer en más de una narrativa histórica.

Por último, cabe destacar que los objetivos sobre NdC explicitados para cada una de las narrativas históricas, si bien no están escritos exactamente igual a los aspectos que estamos defendiendo, sí están profundamente relacionados.

D7. Definir los aspectos a enfatizar y a omitir para cada contenido y el contexto de su producción:

Narrativa histórica	Aspectos a enfatizar	Aspectos a omitir
<p>Copérnico y el resurgir de la idea heliocéntrica de universo: el inicio de una revolución “científica”</p>	<ul style="list-style-type: none"> - A la época de Copérnico, era aceptado un universo finito con la Tierra en el centro. -El heliocentrismo ya había sido propuesta en la Antigüedad. -Copérnico realizó pocas observaciones astronómicas, siendo su trabajo principalmente de carácter teórico. -La crítica al modelo aristotélico-ptolemaico, fue por razones filosóficas, de simplicidad y simetría, y no por incongruencia con observaciones. -Cualquier movimiento celeste explicado por la defensa heliocéntrica de Copérnico, también podía ser explicada por Ptolomeo. -La obra <i>De revolutionibus</i>, no se caracterizó por ser más simple que el Almagesto de Ptolomeo. -La defensa copernicana entró en conflicto con la física legitimada en la época, es decir, con la de Aristóteles. -La alteración del prefacio de la última obra copernicana por Osiander, explicitando que el manuscrito era sólo de carácter hipotético y no una verdad. -El heliocentrismo copernicano iba en contra del paradigma geocéntrico dominante en las diversas esferas de Occidente. No obstante, la Iglesia no prestó importancia a esta idea durante varios años. 	<ul style="list-style-type: none"> -Los ajustes que hubo al sistema aristotélico-ptolemaico en la Edad Media. -Las primeras traducciones del árabe al latín al inicio del siglo X. -A la época de Copérnico, aún era aceptada una separación entre el mundo Sub-lunar (compuesto por fuego, aire, agua y tierra, es decir, los cuatro elementos), y el mundo Supra-lunar, compuesto por éter. -Detalles del Almagesto de Ptolomeo. -La coherencia entre la obra de Ptolomeo y la física aristotélica aceptada. -El desarrollo matemático de la última obra copernicana, con uso de círculos, deferentes, excéntricos y epiciclos.

Narrativa histórica	Aspectos a enfatizar	Aspectos a omitir
<p>Sí, Giordano Bruno, fue adepto al heliocentrismo, pero, ¿fue mártir por la defensa de éste?</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Defensa filosófica de Bruno al heliocentrismo. -Incorporación de nuevas ideas en relación al cosmos y defensa de la infinitud del universo. -Bruno critica a Aristóteles y a Ptolomeo, por lo que va en contra del paradigma legitimado por la Iglesia. -Bruno perteneció a la tradición hermética. - Giordano Bruno, no fue mártir de la ciencia o del copernicanismo, sino que de su libertad intelectual y convicción filosófica, lo cual, fue interpretado como un peligro por parte de la Iglesia en pleno periodo de Crisis. 	<ul style="list-style-type: none"> -Según Bruno, un universo infinito carece de centro. -Ni la Tierra ni el hombre son importantes en el universo. -Argumentos a favor del movimiento de la Tierra. -La aproximación a la relatividad del movimiento según Bruno.
<p>Si Brahe no era adepto al heliocentrismo, ¿qué sentido tiene estudiarlo en el marco de la Revolución Copernicana?</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Brahe fue un astrónomo luterano que se opuso al heliocentrismo. -Tycho identifica que hay errores en las predicciones astronómicas. -Brahe pone en evidencia que el cielo no es inmutable. -Aun identificando pruebas en contra del geocentrismo, intentó defender un modelo alternativo híbrido donde los planetas giran alrededor del Sol y estos en su conjunto, giran alrededor de la Tierra. No obstante, no pudo validar el modelo matemáticamente. -Realizó numerosas y precisas observaciones astronómicas, por medio de instrumentos que mejoró y/o creó. -Tycho, busca y establece una colaboración intelectual con Kepler, con el objetivo de que este le validara su modelo híbrido. 	<ul style="list-style-type: none"> -El funcionamiento del observatorio e instrumentos usados por Brahe. -Disputa de autoría del modelo híbrido con el matemático Ursus. -Abandono de las ideas de esferas celestes. -Introdujo las primeras órbitas no circulares.

Narrativa histórica	Aspectos a enfatizar	Aspectos a omitir
Una aproximación a la génesis de las leyes de movimiento planetario Johannes Kepler	<ul style="list-style-type: none"> -Kepler era luterano y defensor del heliocentrismo. -No sólo se dedicaba a las matemáticas y astronomía, sino que también a la teología y astrología. Tuvo influencias filosóficas neoplatónicas y creyó en un cosmos en armonía. -Kepler envió su primera obra –entre otros- a Brahe para legitimar su trabajo en los círculos intelectuales, consiguiendo que el astrónomo se interesase en trabajar con él. -Kepler y Brahe establecen una relación intelectual con objetivos diferentes. -Johannes, tras la muerte de Brahe, hereda los datos del astrónomo, y comienza a utilizarlos para defender sus ideas. -Influencias de las ideas sobre el magnetismo terrestre en Kepler. -El proceso de elaboración de las leyes planetarias keplerianas -La ruptura “oficial” del axioma platónico y sus implicancias. 	<ul style="list-style-type: none"> -Intercambio de cartas con Galileo. -Uso de ecuantas, círculos y excéntricos para comprender el movimiento planetario, abandonando la idea de esferas celestes. - Las diversas tentativas para ajustar los datos de Brahe a la teoría que defendía. -Los diversos estudios de magnetismo de William Gilbert.
Galileo y el mejoramiento del telescopio. Contribuciones y controversias	<ul style="list-style-type: none"> -Galileo no inventó el telescopio, sino que lo perfeccionó. -Por medio de la técnica, Galileo, pudo producir un nuevo conocimiento, que se oponía a la defensa del paradigma aristotélico de inmutabilidad de los cielos y rol privilegiado de la Tierra, a través de su centralidad en el universo. 	<ul style="list-style-type: none"> -Intercambio de cartas previo al telescopio con Kepler. - Proceso de obtención de datos por medio del telescopio. - Aspectos de óptica del telescopio. - Dedicaciones de las observaciones astronómicas. - Viaje de Galileo a Roma para demostrar cómo eran posible las observaciones con el telescopio. -Vida sentimental de Galileo.

Narrativa histórica	Aspectos a enfatizar	Aspectos a omitir
<p><i>Desmitificando el episodio de la manzana de Newton: ¿qué historia me han y he contado?</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> -El filósofo natural Newton no descubrió la gravedad al caer una manzana, pues ésta ya era conocida desde la Antigüedad. -No confundir gravedad con gravitación. -Entre 1665-1666, Newton no contaba con el bagaje suficiente para desarrollar la ley de Gravitación Universal. -La importancia del conocimiento producido por otros pensadores anteriores a Newton. -El rol de la elaboración de hipótesis y tentativas de puesta a prueba para comprender la gravedad terrestre. -Las posibles relaciones que podría haber realizado Newton al ver caer una manzana. -Newton trabajó durante muchos años para poder comprobar la hipótesis de la extensión de la gravedad hasta la Luna, proceso donde tuvo lugar el error, cambio conceptual y metodológico y frustraciones. 	<ul style="list-style-type: none"> -A pesar de mencionar que Newton fue influenciado por sus trabajos en teología y alquimia, no hay una profundización al respecto. -Los detalles del proceso para desarrollar los Principia, ni tampoco el conjunto de otros conocimientos y estrategias necesarias para materializarla. -Las relaciones matemáticas y físicas que realizó para su experimento mental de la Luna.

Cuadro 4: Aspectos a enfatizar y a omitir en cada narrativa histórica

D8. Escribir la narrativa histórica visando: respeto por el contexto histórico; abordaje diacrónico de contenidos y modos de pensar de filósofos o científicos; una reflexión sobre la coherencia entre los aspectos de NdC que se defienden y lo que se escribe:

Aludimos parte del contexto en que “resurge” la idea del heliocentrismo con polaco Nicolás Copérnico, como un modelo cosmológico alternativo al geocentrismo aristotélico-ptolemaico predominante en los círculos intelectuales y religiosos en Europa. Esta propuesta copernicana, la presentamos con sus aportes, críticas y limitaciones.

Algunos trechos que permiten evidenciar lo abordado son:

La idea del Sol ocupando una posición central en el universo como tentativa a explicar fenómenos que el geocentrismo no conseguía, ya había sido propuesta por pensadores muchos años antes de la era cristiana, como por ejemplo, Aristarco de Samos” (Narrativa histórica 1, p.60).

[...] Sin embargo, aun dando respuestas a estos fenómenos, el modelo de Copérnico, tendría varias objeciones [...] (Narrativa histórica, p.64).

[...] la propuesta copernicana, al ser antagónica a la legitimación generalizada del geocentrismo en Europa en las diversas esferas y al no disponer de una teoría física que lo respaldase, no tuvo una aceptación inmediata en la época. De hecho, aun cuando muchos pensadores reconocen el excelente y riguroso trabajo matemático de Copérnico, no lo legitiman por el hecho de que su sistema no describía fielmente la realidad (Narrativa histórica 1, p.65).

Sin embargo, la propuesta copernicana, era el inicio de una revolución científica, la cual, se consolidaría a partir de las contribuciones de muchas otras personas [...] (Narrativa histórica 1, p.65).

Decidimos, también, abordar a algunos de los primeros defensores de esta idea heliocéntrica como Giordano Bruno, quien si bien amplía la visión de Copérnico sobre el cosmos, tras cuestionar algunos principios cristianos, y defender su libertad intelectual y sus convicciones, es mandado a quemar en la hoguera, lo que permite identificar algunas de las condiciones contextuales de la época donde era producido conocimiento.

Algunos trechos asociados a Giordano Bruno son:

[...] el astrónomo, filósofo, matemático, poeta y astrólogo italiano, Giordano Bruno (1548-1600), quienes no sólo pretendieron legitimar este modelo cosmológico, sino que también incorporar algunas ideas que parecen no haber sido defendidas por Copérnico. (Narrativa histórica 2, p.70).

[...] ese proceso de autoconfiguración de itinerario intelectual (de Bruno), no estaría caracterizado por la tolerancia a la diversidad de pensamiento, al contrario, su filosofía, al ser diferente y antagónica al de la época, lo habría llevado a enfrentar varias y continuas controversias e intolerancias [...] (Narrativa histórica 2, p.71).

Giordano Bruno, cuando estuvo en Alemania en 1590 defendiendo sus ideas, recibió una invitación a Italia por el noble veneciano Giovanni Mocenigo para que le enseñara sobre mnemotecnia (y muy probable que magia también...) [...] Bruno aceptó, probablemente, porque Venecia era un lugar en donde se comercializaban libremente sus textos, y además, era una excelente oportunidad para proponer una reforma que contemplara su filosofía [...] Mocenigo, lo denuncia ante el Tribunal de la Santa Inquisición de la ciudad, indicando que, el filósofo acusado, es un mago que va en contra de los dogmas de fe, y por lo tanto, es un hereje [...] (Narrativa histórica 2, p.72).

Giordano, no fue un mártir de la ciencia como en diversos materiales educativos y de divulgación es señalado, sino que, de su libertad intelectual y convicción filosófica” (Narrativa histórica 2, p.74).

También, escogimos abordar a Tycho Brahe, quien si bien pretendía defender otro modelo alternativo al geocentrismo y heliocentrismo, acaba aportando (sin saber y sin querer) para la propuesta copernicana a partir –entre otros- de sus rigurosos datos astronómicos. Y esto, quizás, no habría sido posible si no hubiera establecido un vínculo intelectual estratégico con Johannes Kepler, quien también buscaba una comprensión mayor del cosmos, pero apoyando la idea heliocéntrica. Así mostramos como Kepler, tras varios años de reflexiones con base a hipótesis, creencias, errores y aciertos, acaba usando algunos de los datos de Brahe que lo llevarán poco a poco a proponer sus leyes planetarias. Todo lo anterior, de alguna manera permite percibir –entre otros – que los pensadores no siempre consiguen demostrar racionalmente lo que quieren, lo cual no significa que haya ausencia de contribución en su área; el valor de la técnica, la colaboración y los modelos matemáticos en la construcción de conocimiento; la no neutralidad de las observaciones; y la importancia de las hipótesis y errores en un proceso de construcción de conocimientos.

Algunos trechos que permiten visualizar lo señalado son:

[...] la predicción sobre la conjunción planetaria entre Júpiter y Saturno, erraron tanto en las tablas astronómicas Alfonsinas, como en las tablas elaboradas por Copérnico, situación que motivó a Tycho a producir tablas astronómicas mucho más exactas y sistemáticas de los planetas [...] (Narrativa histórica 3, p.79).

[...] Sin embargo, Tycho Brahe, antes de convencerse de ésta discrepancia, le surgió la duda si – realmente - ese cuerpo celeste estaba en la esfera de las estrellas, o estaba en la atmósfera terrestre, en donde según los griegos, las mudanzas podían ocurrir (Narrativa histórica 3, p.80).

A partir de los datos evidenciados, Tycho, comienza a cuestionar las hipótesis heredadas de la cultura griega, ya que, si los antiguos sabios habían errado

en uno de sus principales postulados, probablemente, también lo habrían hecho con otros (Narrativa histórica 3, p.80).

Brahe, nuevamente refuta con evidencia la hipótesis Aristotélica, puesto que, al utilizar instrumentos, verificó que el cometa observado no presentaba paralaje, por lo que este cuerpo celeste, estaba mucho más lejos que la Luna (Narrativa histórica 3, p.80).

[...] Johannes Kepler, quien consciente e intencionalmente había enviado su libro a Brahe, al recibir la invitación del astrónomo, vio una gran oportunidad, no sólo para tener acceso a los datos observacionales que Tycho había conseguido durante años [...] (Narrativa histórica 3, p.84).

[...] Si bien Johannes dejaría su carrera sacerdotal para dedicarse al estudio de la “ciencia”, nunca dejaría de ser un hombre religioso y creer que, la armonía matemática del universo, era una manifestación de Dios, donde el Sol en su posición central, representaba la sabiduría divina [...] (Narrativa histórica 4, p.90).

[...] Si bien Kepler (a petición de Brahe) inició –sin mucho entusiasmo- el estudio sobre el comportamiento “irregular” de la órbita de planeta Marte, después de la muerte de Brahe, haber heredado sus datos astronómicos y por poseer más información sobre planeta Marte, tornó el “problema” de irregularidad de éste planeta un estudio de varios años (Narrativa histórica 4, p.91).

Kepler, imaginó que, otra manera de explicar la variación de velocidades, era atribuyendo una responsabilidad al Sol, el que podría estar moviendo a la Tierra a través de una fuerza magnética [...] ésta idea de Kepler, fue influencia por los trabajos sobre magnetismo del filósofo y médico inglés William Gilbert, quien también creía que los planetas eran movidos por causa del Sol y que el efecto se reducía mientras aumentaba la distancia (Narrativa histórica 4, p.92).

Kepler, da a entender que llevó a cabo varias y esforzadas tentativas para hallar correspondencia entre los datos de Brahe y la forma circular y uniforme para la órbita de Marte, pero que no resultó. Continuando con sus reflexiones, parece haber imaginado que, la forma de la órbita Marte no era círculo perfecto, sino que una oval, iniciando así con la ruptura del axioma platónico del “círculo” que había sido legitimado por varios pensadores desde la Antigüedad (Narrativa histórica 4, p.93).

Asimismo, continuamos –entre otros - con el rol de la técnica y las evidencias, abordando así algunos aspectos de Galileo Galilei, quien con el uso del telescopio, colaboraría con las reflexiones cosmológicas, físicas y astronómicas de la época, las que por cierto, no estarían libres de objeciones, principalmente, entre los círculos intelectuales y religiosos.

Algunos trechos que evidencian lo abordado son:

[...] algunos historiadores de la ciencia, legitiman que, el telescopio, fue inventado en Holanda en el año 1608, lugar en donde habría varias disputas de autoría [...] Por lo tanto, sería desde este lugar que habrían comenzado las exportaciones a otros países de Europa, llegando a Italia en el año 1609 (Narrativa histórica 5, p.102).

[...] Así, tras meses de trabajo, alcanzó su objetivo y, además, tras conseguir algunas interesantes evidencias astronómicas con el uso del telescopio, abrió una puerta para la reflexión, el debate y nuevos desafíos (Narrativa histórica 5, p.103).

[...] quisiéramos destacar que antes de Galileo, también hubo personas que apuntaron al cielo con instrumentos que permitieron aumentar el tamaño de los astros, como es el caso de Simón Marius en Alemania (COHEN, 1967) y Thomas Harriot en Inglaterra, quien también notó imperfecciones en la Luna en 1609. Lo que marcó la diferencia, fue el hecho que, Galileo, habría sido el primero en publicar lo que vio [...] (Narrativa histórica 5, p.105).

[...] serían varios los nobles, religiosos e intelectuales que se negarían a aceptar lo publicado por Galileo, pues, las evidencias de las observaciones astronómicas, no sólo eran cuestionadas por haber sido obtenidas con un instrumento de compleja manipulación que carecía de bases teóricas físicas (PEDUZZI, 2008) y que generaba extrañas imágenes (como el caso de Saturno), sino también, porque mostraban que no todo gira alrededor de la Tierra (MARTINS, 2015), entrando así en conflicto con la defensa de inmutabilidad de los cielos defendida por Aristóteles y, por lo tanto, con el paradigma legitimado por la Iglesia (Narrativa histórica 5, p.105).

Finalmente, hacemos un breve abordaje sobre el filósofo natural Isaac Newton, a partir de la problematización del episodio de la manzana, para desmitificar la idea de “descubrimiento” de la gravedad por casualidad, donde algunos trechos que permiten identificar lo abordado son los siguientes:

[...] en algún momento de 1664, Newton, habiendo leído obras de diversos pensadores, comenzó a reflexionar profundamente sobre las ideas de la naturaleza de la materia y la explicación de sus propiedades, realizando algunas anotaciones [...] en éste cuaderno de anotaciones, están los registros más antiguos de los pensamientos de Newton sobre la gravedad [...] (Narrativa histórica 6, p.112).

Newton, al morir, dejó una gran cantidad de manuscritos, pero jamás fue encontrada una descripción de él respecto a la caída de la manzana. No obstante, sí hay – al menos – 4 evidencias oficiales de personas que habrían registrado el discurso de Newton cuando éste ya era anciano (Narrativa histórica 6, p.114).

[...] Newton no podría haber desarrollado la teoría de G.U entre 1665-1666, ya que, por una parte, carecía de condición intelectual suficiente y necesaria y, por otra, a pesar de haber mostrado indicios de “ruptura” de las ideas cartesianas de Descartes en Cambridge, aún estaba influenciado – entre otros- por la idea de tendencia centrífuga como mecanismo de mantención de la órbita planetaria (Narrativa histórica 6, p.116).

[...] en el caso de tener algo de verdadero el episodio de la manzana, la caída de la fruta, no causó la idea de que la Tierra atrajera directamente a los cuerpos pesados, sino que favoreció una serie de asociaciones en la mente de Newton [...] (Narrativa histórica 6, p.117).

[...] el proceso para construir nuevos conocimientos por parte de Newton, fue –a diferencia como es presentado en libros didácticos y divulgación – muy complejo (FORATO, 2006). Su itinerario metodológico, no estuvo ajeno a cambios conceptuales y metodológicos, ni a especulaciones, confusiones, errores y frustraciones [...] (Narrativa histórica 6, p.118).

3.3 Orientaciones para la elaboración de preguntas guías con base en narrativas históricas enmarcadas en la Revolución Copernicana (etapa 3)

La elaboración de las preguntas guías para cada narrativa histórica, constituyó la tercera etapa de este trabajo de grado.

Como ya veníamos anunciado en la subsección 2.3.5, algunos propósitos que motivaron la elaboración de estas preguntas guías, por una parte, estuvieron centrados en la otorgación de potenciales subsidios para la reflexión de y sobre los tópicos “científicos” enmarcados en la Revolución Copernicana y, por otra, en la valoración del sujeto como un ser integral, con su intelecto, emociones, valores y convicciones (RUBINSTEIN, 1963; D’AMBROSIO, 2007; NARANJO, 2013).

Para esto, decidimos usar como directriz los diferentes PDPC propuestos por Labarrere y Quintanilla (2002), pues, creemos que estos son pertinentes y coherentes a nuestros propósitos.

Ahora, si bien la elaboración de estas preguntas con base en estos PDPC (*Instrumental-Operativo*, el *Personal- Significativo* y el *Relacional – Social o Cultural*) no es una tarea trivial, ya que orientar la tarea configura los lenguajes y direcciona la tarea del sujeto que aprende, a continuación, presentamos una aproximación sobre cómo podría ser planteadas algunas preguntas (ver cuadro 5).

Nombre del PDPC	Características o atributos del PDPC	Estructuras semánticas posibles para cada PDPC
<i>Instrumental-Operativo</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Foco en sujeto individual o colectivo. • Centrado en el contenido, procedimiento y estructura; recursos, estrategias de resolución, ecuaciones, fórmulas, instrumentos, etc., (“Qué y Cómo”). 	<p><i>¿Qué diferencia hay/hubo entre...?, ¿Qué pasa/ó cuando...?, ¿Qué acontecería si...?, ¿Por qué pasa/ó...?, ¿De qué manera el/la pensador(a) “x” definió/explicó...?, ¿Qué hizo “x” para comprender/analizar mejor el fenómeno “x”...?, ¿Qué parece haber tenido en mente “x” para realizar “y”?, ¿Qué otras alternativas hubo para...?, ¿Cuáles son/fueron las razones/soluciones para...?, ¿Cómo eso podría ser usado para...?, ¿Cómo “x” llegó a concluir que...?, Calcule el valor de..., Complete la tabla..., Demuestre que..., Expresé matemáticamente la relación entre, Construya un gráfico “x” v/s “y”..., ¿Cómo podría explicarse el fenómeno de...?, Justifiquen de qué manera..., Comparen la teoría “x” con “y”..., etc.</i></p>
<i>Personal-Significativo</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Foco en sujeto individual. • Centrado en el sentido, significado y valor que tiene para cada sujeto direccionar la tarea, es decir, el centro por excelencia es el proceso meta-cognitivo del sujeto en términos valorativos, evaluativos, reflexivos, creativos (“Por qué y Para qué”). Espacio intra-subjetivo) 	<p><i>¿Cómo crees tú que influyó...?, ¿Cómo explicarías tú el hecho que...?, ¿Qué haría/hizo usted para...?, ¿Cómo llegaste a esa conclusión?, ¿Piensas que el problema “x” fue importante para...? ¿Por qué?, ¿Cómo definirías el concepto...?, ¿Tú crees pertinente afirmar que “x” es más válido que “y”?, ¿Cuál es/fue tu impresión del desacuerdo entre “x” e “y”...?, ¿Qué problemas piensas tú que podrían haber en el caso de...?, ¿Qué otra hipótesis/explicación habrías planteado tú en la época de...?, ¿Estás de acuerdo con...?, ¿Qué opinas sobre las actitudes de...?, ¿Es importante para ti...?, ¿Qué harías tú si...?; ¿De qué maneras relacionarías “x” con tu diario vivir...?, ¿Piensas que el desarrollo de “x” tiene/tuvo una importancia para ti, tu familia o amigos...? Argumenta, ¿Qué imaginaste al leer sobre...? ¿Por qué?, ¿Podrías describir tus emociones o sentimientos al involucrados al comprender/hacer...?, etc.</i></p>

<p><i>Relacional – Social o Cultural</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Foco en sujeto colectivo. • Centrado en las relaciones, colaboración, interacciones y comunicación. El espacio inter-subjetivo. 	<p><i>¿Si tuvieran que escribir una carta sobre “x” a “y”, qué destacarían y por qué...?, ¿De qué manera explicarían la “x” para un grupo de “y”?, Si tuvieran que planificar un debate sobre “x” ¿qué aspectos creen que serían más relevantes de discutir?, ¿Cuál creen que fue el principal rol de “x” para la sociedad?, ¿Qué opinan el comportamiento que tuvo “x” para...?, ¿Habrán sido pertinentes las estrategias adoptadas por “x” para...? Comenten, ¿Cuáles fueron las principales dificultades para ustedes en la comprensión de...?, ¿Qué harían para haya más conciencia y acción social sobre “x” con base en “y”?,¿Cómo relacionarían las características de “x” con lo que acontece en su escuela o barrio...?, Socialicen las etapas que llevaron a cabo cuando..., ¿Qué estrategias elaborarían para el problema/concepto de “x” sea mejor comprendido por sus compañeros(as) de otros cursos/escuela?,¿Creen que estos contenidos son significativos para su formación como persona? Argumenten brevemente.</i></p>
--	--	--

Cuadro 5: Directrices para la elaboración de preguntas desde los PDPC

Fuente: elaborado por el autor

De esta manera, con base en las directrices del cuadro 5, pudimos elaborar algunas preguntas guías para cada narrativa histórica producida, para lo cual, utilizamos el siguiente formato para su organización:

PREGUNTAS SUGERIDAS PARA SER USADAS O ADAPTADAS EN LA NARRATIVA HISTÓRICA "x" "..."		
Plano de Desarrollo	Preguntas sugeridas	Indicadores de A.C en promoción
<i>Instrumental – Operativo</i>		
<i>Personal – Significativo</i>		
<i>Relacional – Social o Cultural</i>		

Ilustración 2: Matriz de organización de preguntas por narrativa histórica

Fuente: elaborado por el autor

Finalmente, en lo concreto, ¿cuáles fueron las narrativas históricas y preguntas guías elaboradas que se enmarcan en el proceso de la Revolución Copernicana?

El conjunto de éstas, sólo serán socializadas en el próximo capítulo.

4. Narrativas históricas y preguntas directrices enmarcadas en la Revolución Copernicana. Una propuesta para el fortalecimiento de la A.C

En primer lugar, quisiéramos reiterar que, aun cuando hubo diversas directrices para la materialización de la propuesta, el proceso en el tiempo, no fue lineal y ajeno a incertidumbres, pues, apropiarse cada vez más de los diferentes parámetros metodológicos, se constituyó un insumo para la reflexión que condujo – voluntaria o involuntariamente- a nuevas ideas, tensiones, dudas y angustias, que conllevaron a reiterados replanteamientos de la producción académica.

De esta manera, las narrativas históricas enmarcadas en la Revolución Copernicana con sus respectivas preguntas directrices, se constituyen como un discreto e inacabado insumo didáctico-pedagógico y epistemológico de reflexión y formación para el fortalecimiento de la A.C en profesores(as) y/o estudiantes, la que es flexible de adaptación según los objetivos y contextos donde pueda ser implementada.

4.1 Evidenciando la configuración de objetivos con base a A.C, narrativa histórica y preguntas guías

Reiteramos que, para organizar los objetivos deseados en los distintos recursos elaborados, utilizamos las orientaciones sobre A.C de Sasseron y Carvalho (2008); para la construcción de narrativas históricas visando aspectos de NdC, usamos algunos parámetros sugeridos por Forato (2009); mientras que para la elaboración las diversas preguntas con base en los PDPC, usamos las orientaciones de Labarrere y Quintanilla (2002).

En las próximas subsecciones de este capítulo, pondremos en evidencia la contribución que hemos elaborado. Para esto, en primer lugar, mostramos el correspondiente cuadro de objetivo asociado a la narrativa histórica, luego, lo sigue la narrativa histórica propiamente tal y, por último, son socializadas las distintas preguntas guías según PDPC.

4.1.1 Propuesta 1

Objetivos para narrativa histórica 1

Narrativa histórica 1 <i>Copérnico y el resurgir de la idea heliocéntrica de universo: el inicio de una revolución “científica”</i>		
Objetivo general		<ul style="list-style-type: none"> • Analizar el porqué de la “necesidad” de proponer un “nuevo” modelo de mundo por Copérnico.
Eje de Alfabetización Científica a promover	Eje 1 “Conceptos y conocimientos científicos”	<ul style="list-style-type: none"> • Geocentrismo • Heliocentrismo • Movimiento retrógrado de los planetas • Modelos cosmológicos
	Eje 2 “Naturaleza de las Ciencias”	<ul style="list-style-type: none"> • Favorecer un panorama general de parte de la historia de la filosofía natural en el Renacimiento. • Conocer las razones de Nicolás Copérnico, para proponer el heliocentrismo en el Renacimiento. • Percibir que las ideas no aceptadas en un pasado, pueden aparecer y ser usadas en un futuro. • Comprender que un mismo fenómeno natural puede ser interpretado de distintas maneras. • Comprender la influencia socio-cultural en la producción y transferencia de conocimiento de la obra copernicana. • Entender que si un modelo explica mejor algunas cosas, no significa que esté exento de objeciones y/o limitaciones.

Cuadro 6: *Objetivos directrices desde la A.C, para narrativa histórica 1*

Narrativa histórica 1

Copérnico y el resurgir de la idea heliocéntrica de universo: el inicio de una revolución “científica”

Nicolás Copérnico, nació el año 1473 en la ciudad de Torun (actual Polonia), en medio de un incierto y cambiante periodo en Europa, caracterizado – entre otros – por el origen de las monarquías y el capitalismo, las grandes navegaciones, las controversias entre el catolicismo y protestantismo (GRIMBERG, 1983), y la creencia de un modelo cosmológico donde la Tierra ocupaba – aproximadamente – el centro del universo.

Copérnico, inició estudios en artes liberales (que incluían matemática y astronomía) en la universidad de Cracovia en 1491 (poco antes de la llegada de los europeos a América), pero al trasladarse a Italia, también estudia derecho en la universidad de Bolonia y, poco después, medicina en Padua.

Estando en Italia, se familiariza con las obras platónicas, comienza a leer el *Almagesto* de Ptolomeo¹⁶ y, probablemente, es aquí donde inicia sus lecturas sobre algunos pensadores antiguos que aceptaban la movilidad de la Tierra (LOPES, 2001).

Reconociendo la rigurosa organización y calidad de los capítulos del libro *Almagesto*, Copérnico, admira a Ptolomeo (COHEN, 1967), pero *al no estar de acuerdo con algunos principios, se vuelve un crítico de la misma obra.*

Pero, ¿por qué y en qué aspectos no estuvo de acuerdo Copérnico?

En el *Almagesto*, entre otras cosas, Ptolomeo expuso a “favor” del geocentrismo, el que *ya había sido defendido por otros pensadores, como por ejemplo, Aristóteles*¹⁷. *No obstante, en consideración a que este modelo no explicaba*

¹⁶ Ptolomeo (90-160), nace en Alejandría, en pleno dominio del Imperio Romano. Realiza estudios de astronomía, matemática, química y geografía, y una de sus principales contribuciones fue la realización de una *síntesis de la astronomía antigua griega desde un tratamiento matemático avanzado, cuya obra llamó de Almagesto* (en español, composición matemática). El *Almagesto* fue escrito originalmente en griego (Megale Syntaxis) y se organizó en 13 volúmenes. Para saber un poco más: <http://www.ghhc.usp.br/server/Sites-HF/Geraldo/index.htm>

¹⁷ Aristóteles (384a.C-322a.C), fue un pensador griego discípulo de Platón, cuya visión de universo, influyó en el pensamiento de varias personas. Este filósofo defendía –entre otros - una idea de Tierra esférica (que ya había sido propuesta antes de él), central e inmóvil (LOPES, 2001), y creía en un universo finito sin espacios vacíos.

muy bien algunos fenómenos (como la retrogradación planetaria), realiza algunas modificaciones de carácter geométrico al modelo, como por ejemplo, el desplazamiento de la Tierra del centro.

Es interesante notar que, tanto la limitación del geocentrismo para explicar el movimiento retrógrado de los planetas, como la propuesta de modelos explicativos alternativos, no eran reciente a la época de Ptolomeo.

Ahora, volviendo a Copérnico, según Martins (2015), parece que la discrepancia en relación al Almagesto se basó, principalmente, en las siguientes razones:

1. Una razón filosófica: el Sol, al ser la fuente de luz principal, debe ser el centro del universo.
2. Una razón teórica de simetría: el sistema de Ptolomeo, al usar ecuantos y excéntricos, es de carácter irregular.
3. Una razón de simplicidad: el sistema de Ptolomeo, al tener un mayor de “círculos”, es más complejo.

Por lo tanto, la motivación de Copérnico por buscar respuestas alternativas a las de Ptolomeo, no habría sido por las inconsistencias entre el sistema de Ptolomeo y las observaciones astronómicas. Con esto, podemos evidenciar que *la observación de un mismo fenómeno natural, puede ser influenciada no sólo por la formación teórica de la persona.*

Copérnico, así, *con base a sus reflexiones alternativas a las de Ptolomeo, escribió De hypothesis motuum coelestium a se constitutis commentariolus¹⁸* (en español, Comentarios sobre las hipótesis de los movimientos de los objetos celestes a partir de sus disposiciones), cuya producción de carácter cualitativa *se rehusó a socializar públicamente*, restringiéndose sólo a un grupo pequeño de amistades, pues, *tenía temor a las posibles críticas en el caso de no ser capaz de probarlas.*

Lo postulado por el pensador polaco en “Comentarios”, lo sintetiza en 7 exigencias:

¹⁸ Este manuscrito, sólo comenzará a circular entre los astrónomos, al final de la primera década del siglo XVI (MARTINS, 2003).

Primera exigencia: No existe un centro único de todos los orbes o esferas celestes.

Segunda exigencia: El centro de la Tierra no es el centro del mundo, sino que sólo de la gravedad y del orbe lunar.

Tercera exigencia: Todos los orbes giran en torno del Sol, como si él estuviese en el medio de todos; por lo tanto, el centro del mundo está cerca del Sol.

Cuarta exigencia: La razón entre la distancia del Sol a la Tierra y la altura del firmamento, es menor que la razón entre el radio de la Tierra y su distancia al Sol; y con mucho más razón esta es insensible confrontada con la altura del firmamento.

Quinta exigencia: Cualquier movimiento aparente en el firmamento, no pertenece a él, sino que a la Tierra. Así la Tierra, con los elementos adyacentes, gira en torno de sus polos invariables en un movimiento diario, quedando permanentemente inmóvil el firmamento y el último cielo.

Sexta exigencia: Cualquier movimiento aparente del Sol no es causado por él, sino que por la Tierra y nuestro orbe, con el cual giramos en torno del Sol como cualquier otro planeta. Así, la Tierra es transportada por varios movimientos.

Séptima exigencia: Los movimientos aparentes de retrogradación y progresión de las errantes, no pertenecen a ellos, sino que a la Tierra. Sólo el movimiento de esta es suficiente para explicar muchas irregularidades aparentes en el cielo (COPÉRNICO cit. MARTINS 2003, p.114-117, traducción nuestra).

A partir de la segunda exigencia, Copérnico, inicia el abandono del geocentrismo, el que queda más claro en la tercera exigencia, donde el Sol, a pesar de no ser colocado exactamente en el centro de los orbes, lo deja casi en una posición central¹⁹ (MARTINS, 2003). *No obstante, su visión en relación al mundo no era totalmente diferente de la Antigua, pues, aun creía en orbes transparentes encajados y girando unos dentro de otros* (MARTINS, 2012).

La idea del Sol ocupando una posición central en el universo como tentativa a explicar fenómenos que el geocentrismo no conseguía, *ya había sido propuesta por pensadores muchos años antes de la era cristiana, como por ejemplo, Aristarco de Samos (310 a.C – 230 a.C)*. Sin embargo, en aquella época, Aristarco parece no haber tenido los argumentos suficientes para romper la tradición de pensamiento, es decir, no pudo superar el paradigma del geocentrismo dominante. De esta manera, podemos notar que, *las ideas postuladas en el pasado, pueden aparecer y ser usadas en el presente o en un futuro*.

¹⁹ Por eso, a veces, se prefiere el término helio-estático en vez de heliocéntrico (MARTINS, 2003).

Por otro lado, como hace mención Zanetic (1995), *había también otros problemas astronómicos que no se podían responder a partir del paradigma dominante*, como por ejemplo:

1. ¿Por qué Venus y Mercurio siempre eran vistos en las proximidades del Sol?
2. ¿Por qué Marte, Júpiter y Saturno podían ser vistos en oposición al Sol?
3. ¿Cómo se explica la separación de los planetas en relación al Sol?

Sumado a lo anterior, *los estudiosos de la época, hallaban constantes errores en el calendario juliano, el que también había sido elaborado con base en el modelo geocéntrico*.

Sobre este escenario, no pasaría mucho tiempo en que *se comenzaría a cuestionar seriamente el modelo señalado*, ante lo cual, la Iglesia, comienza a buscar a intelectuales que pudieran dar *respuesta divina–racional al porqué de tales incongruencias entre lo teórico y lo observacional*. De esta manera, por encargo del Papa León X, Nicolás Copérnico, es invitado a la reformulación del calendario eclesiástico (KOESTLER, 1989).

Tras la consulta encomendada, Copérnico, parece haber percibido que, las incongruencias que le habían señalado, se debían a la incerteza de los movimientos celestes, lo cual, exigiría necesariamente una reformulación en la astronomía aristotélica-ptolemaica, cuya respuesta, en parte, se encontraba en el trabajo que había estado desarrollando silenciosamente.

Así, Copérnico, *habría continuado trabajando en su obra inicial durante varios años* (LOPES, 2001), *cuyas ideas, serían cristalizadas en su efervescente obra intelectual teórica-matemática, De revolutionibus orbium coelestium* (en español, Sobre las revoluciones de los orbes celestes), la cual, aun materializada en 1530, su divulgación, tendría un retraso de 13 años.

A propósito, un aspecto relevante, es que *el proceso de divulgación oficial de la última obra de Copérnico, estuvo caracterizado por comportamientos humanos inadecuados* que, en lo concreto, se habría traducido en la *manipulación y alteración de la obra original por parte de otra persona*.

Lo anterior, habría ocurrido tras que, Rético, su joven discípulo, habría derivado la responsabilidad de velar por la obra de Copérnico al teólogo luterano y editor literario alemán, Andreas Osiander, quien tendría que terminar de supervisar la impresión del libro. En ese momento, *Osiander, quien por su fiel defensa a los principios luteranos²⁰ y oposición a los “recientes” postulados copernicanos, altera el documento original de Copérnico, indicando así, que lo explicitado a lo largo de la obra, sólo era una hipótesis matemática* (PEDUZZI, 2008; QUINTANILLA; IZQUIERDO; ADÚRIZ-BRAVO, 2014).

Con esta alteración, el libro de Copérnico, será publicado en el año 1543, justo en el año de la muerte del autor²¹.

Esta última obra intelectual de Copérnico, al contrario de lo que varios(as) piensan o han escrito, *no se caracterizó por ser más simple que la obra de Ptolomeo*. De hecho, Copérnico, también *utilizó los elementos matemáticos como “círculos”, deferentes, excéntricos y epiciclos, a tal punto que, cualquier movimiento celeste copernicano, también podría ser explicado por un sistema ptolemaico* (COHEN, 1967; ZANETIC, 1995; MARTINS, 2015). De hecho, el número de esferas, desde su obra *Comentarios a Revoluciones*, habría aumentado de 34 a 48 respectivamente, lo cual, superaba el número de Ptolomeo, quien postulaba sólo 40 esferas (COHEN, 1967; KOESTLER 1989).

En función a lo anterior, es una imperante necesidad delimitar y destacar dónde estuvo la gran innovación de Nicolás Copérnico.

La respuesta más popular entre los historiadores de la ciencia y científicos, es que, la innovación de Copérnico, habría estado en atribuir a la Tierra, la misma posición jerárquica del resto de los planetas, reservando una posición especial al Sol, el cual, ocuparía el centro en torno del cual se mueven todos los planetas y del

²⁰ Una de las defensas de los luteranos, era que “la capacidad cognoscente humana es falible y que, en consecuencia, las verdades del mundo no son posibles de descifrar o axiomatizar, ya que dependen directamente de la voluntad divina” (QUINTANILLA; IZQUIERDO; ADÚRIZ-BRAVO, p. 311, 2014).

²¹ Cabe destacar que, esta obra de Copérnico, no tendría una censura inmediata. De hecho, su obra intelectual, sólo entraría en la categoría de libros prohibidos de la Iglesia Católica, *Índex*, después de 73 años de su publicación (PEDUZZI, 2008).

universo (COHEN, 1967; ZANETIC, 1995; KOYRÉ, 2006; MARTINS, 2012), como se ve en la ilustración 3.

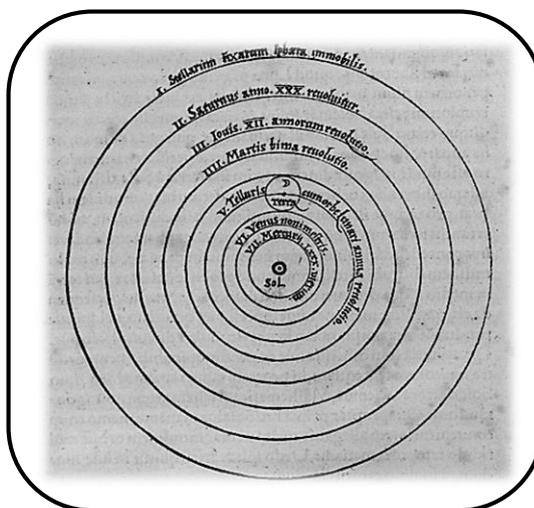


Ilustración 3: Modelo heliocéntrico defendido por Copérnico

Fuente: <http://www.hps.cam.ac.uk/starry/copernicuslrg.jpg>

Con el sistema propuesto por Copérnico, se podría dar respuesta a algunos de los problemas que el geocentrismo no había podido responder. Por ejemplo, algunos de estos eran:

1. Si la Tierra gira en torno de su eje, el movimiento diario de los cuerpos celestes (Luna, Sol, estrellas y planetas), son sólo movimientos aparentes (guiados directamente por nuestros sentidos).
2. Los planetas, al tener un periodo de revolución en torno al Sol que es directamente proporcional a su distancia con respecto al Sol, habrá una evidente velocidad relativa entre estas. Por lo tanto, el movimiento retrógrado observado desde la Tierra, es aparente. Lo anterior, se puede representar en la ilustración 4.

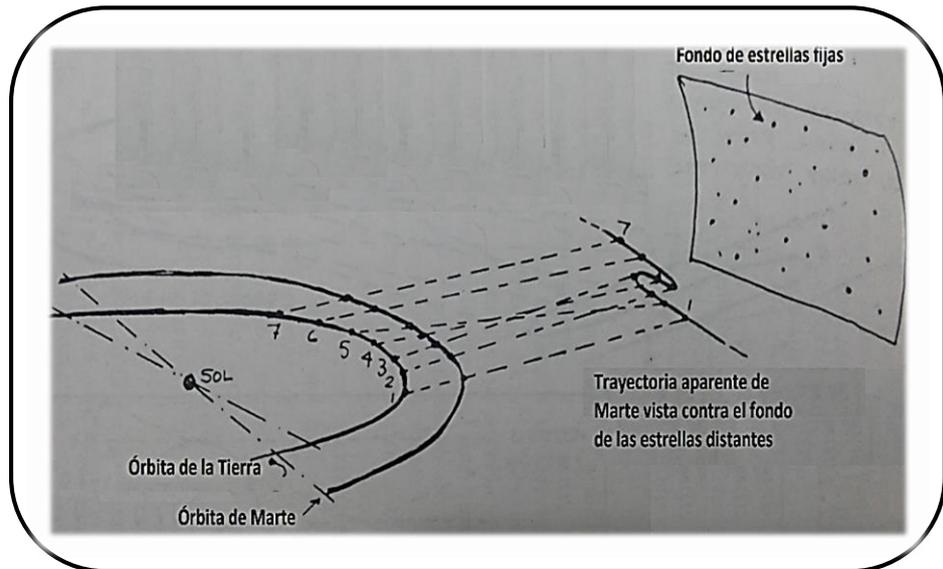


Ilustración 4: Representación del movimiento aparente de Marte con respecto a la Tierra, cuando gira alrededor del Sol

Fuente: Adaptado de COHEN, 1967, p.43.

3. En función a lo anterior, se puede deducir que, cada vez que un planeta pase cerca de la Tierra, el brillo con respecto a esta, será más intenso.
4. A partir del sistema copernicano, se puede obtener la secuencia de alejamiento de los planetas, a partir del Sol.

Sin embargo, aun dando respuestas a estos fenómenos, *el modelo de Copérnico, tendría varias objeciones*, las que el mismo pensador polaco refuta:

Objeción 1: *Si la Tierra girara, se rompería, y todas las cosas serían lanzadas fuera de ésta.*

Refutación de Copérnico a la objeción 1: ¿Por qué el cielo no se rompe si el movimiento de este es más rápido? Además, si la Tierra gira y no se rompe, es porque es un movimiento natural y no violento.

Objeción 2: *Si la Tierra girara, los pájaros y las nubes, serían vistos como si se movieran hacia el oeste.*

Refutación de Copérnico a la objeción 2: El aire y las cosas que están en este, se mueven junto a la Tierra. Además, sólo el aire que está más cerca de la superficie de la Tierra es el que se mueve con ésta.

Objeción 3: *Los movimientos naturales de los 4 elementos, son rectilíneos y radiales en relación al universo.*

Refutación de Copérnico a la objeción 3: Los cuerpos esféricos tienden a girar naturalmente. Los movimientos rectilíneos no son naturales, sólo ocurren para traer un cuerpo devuelta a su lugar natural. Los movimientos “circulares” son los únicos armoniosos, perfectos y naturales. Los cuerpos terrestres, acompañan el movimiento natural de rotación terrestre, ya sea cuando caen, o cuando suben.

Objeción 4: *Ausencia de paralaje estelar. Una pregunta que era realizada era ¿por qué no se pueden observar cambios en la posición relativa de las estrellas, si la Tierra orbita alrededor del Sol?*

Refutación de Copérnico a la objeción 4: El radio del universo debe ser mucho mayor a lo que pensaban los antiguos griegos. De esta manera, las estrellas, están tan distantes que es imposible observar paralaje.

Finalmente, *otras objeciones al sistema copernicano, pero sin refutación o respuesta del autor, fueron:*

Objeción 5: *el sistema copernicano, al descentralizar la Tierra en reposo defendida en el sistema aristotélico-ptolemaico, enfrenta el desafío de una nueva física, para explicar los fenómenos de una Tierra en movimiento.*

Objeción 6: *el sistema copernicano, al proponer a la Tierra como un planeta más, eliminaba la división entre el cielo y la Tierra, y así, la idea de perfección y corrupción. Por lo tanto, enfrentaba totalmente el dogma religioso dominante.*

Con todo lo anterior, *la propuesta copernicana, al ser antagónica a la legitimación generalizada del geocentrismo en Europa en las diversas esferas y al no disponer de una teoría física que lo respaldase, no tuvo una aceptación inmediata en la época.* De hecho, aun cuando muchos pensadores reconocen el excelente y riguroso trabajo matemático de Copérnico, no lo legitiman por el hecho de que su sistema no describía fielmente la realidad (MARTINS, 2012).

Sin embargo, *la propuesta copernicana, era el inicio de una revolución científica, la cual, se consolidaría a partir de las contribuciones de muchas otras personas, en un proceso que duraría más de 100 años, el que no se limitó solamente*

a los aspectos astronómicos, sino que también en la forma en que el hombre occidental comprendería la naturaleza (KUHN, 1978).

Bibliografía narrativa histórica 1

COHEN, B. **O nascimento de uma nova física**. São Paulo: Edart, 1967. 203p.

GRIMBERG, C. **Historia Universal. Roma**. Madrid: Daimon, 1983. 385p

KOESTLER, A. **O homem e o universo**. Trad. de Alberto Denis. São Paulo: Ibrasa, 1989, 426p.

KOYRÉ, A. **Do mundo fechado ao universo infinito**. Trad. de Donaldson M. Garschagen, 4. ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2006. 156p.

KUHN, T. **La revolución copernicana. La astronomía planetaria en el desarrollo del pensamiento occidental**. Trad. de Domenec Bergada. Barcelona: Ariel, 1978, 375p.

LOPES, M. **A retrogradação dos Planetas e Suas Explicações: Os orbes dos Planetas e Seus Movimento, da Antiguidade a Copérnico**. Dissertação (Mestrado em História da Ciência), Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2001. <http://www.ghc.usp.br/server/Teses/Maria-Helena-Oliveira-Lopes.PDF>

MARTINS, R. **A revolução copernicana** – Curso de História da Física. Grupo de História, Teoria e Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo, 2015. <https://uepb.academia.edu/RobertoMartins/Curso-de-Hist%C3%B3ria-da-F%C3%ADsica>

MARTINS, R. **Commentariolus. Pequeno comentário de Nicolau Copérnico sobre suas próprias hipóteses acerca dos movimentos celestes**. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2003,180p.

MARTINS, R. **O Universo. Teorias sobre sua origem e evolução**. São Paulo: Livraria da Física, 2012. 228p.

PEDUZZI, L. **Evolução dos conceitos da Física. Força e movimento: De Thales a Galileu**. Publicação interna, depto. Física, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008. 165p. http://fisica.uems.br/praxedes/tales_galileu.pdf

QUINTANILLA, M; IZQUIERDO, M; ADÚRIZ-BRAVO, A. Nicolás Copérnico desde una propuesta realista pragmática de la historia ciencia. En: QUINTANILLA, M; DAZA, S; CABRERA, H (Eds.). **Historia y Filosofía de la Ciencia. Aportes para una 'nueva aula de ciencias', promotora de ciudadanía y valores**. Barrancabermeja: Bellaterra, 2014, p. 304-320.

ZANETIC, J. **Gravitação** – Notas de aula. Instituto de Física da Universidade de São Paulo, 1995.

Preguntas por PDPC sugeridas para ser usadas o adaptadas en la narrativa histórica 1

PDPC	Preguntas sugeridas	Indicadores de A.C en promoción
<i>Instrumental – Operativo</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. ¿Cuáles fueron las principales características del contexto socio-cultural donde se desarrolló Copérnico? 2. ¿Por qué hubo “necesidad” de proponer un nuevo sistema de mundo? 3. ¿La física aristotélica era compatible con el heliocentrismo? Explica. 4. ¿El heliocentrismo que defendía Copérnico estuvo exento de objeciones? Argumenta. 5. Si el heliocentrismo ya había sido propuesto en la Antigua Grecia, ¿por qué sólo desde Copérnico tomará más importancia? 6. ¿Cuál(es) habrá(n) sido la(s) razón(es) por la que el heliocentrismo parece no haber sido defendido por los pensadores en la Edad Media? 7. ¿El modelo heliocéntrico fue más simple que el modelo aristotélico-ptolemaico?, ¿Por qué? 8. ¿Por qué hubo interrogantes que no fueron contestadas por el heliocentrismo? 9. Explica el movimiento retrógrado de los planetas comparando el geocentrismo y el heliocentrismo. Puedes apoyarte de dibujos y/o esquemas. 10. ¿Las creencias o ideologías de los pensadores, pueden influir en sus teorías? Comenta. 	<p align="center">Describir, enunciar, explicar, comparar, argumentar</p>
<i>Personal – Significativo</i>	<ol style="list-style-type: none"> 11. ¿Crees que la decisión de Copérnico de no socializar públicamente sus ideas, fue una actitud propia de la época, o también la encontramos en la actualidad? Argumenta. 12. ¿Cómo explicarías tú la caída de los cuerpos desde el heliocentrismo? 13. ¿Crees que existe observación neutra?, ¿Por qué? 14. ¿Podrías explicar el hecho de que aún haya personas en el mundo que creen y/o defiendan que el centro del universo es la Tierra? 	<p align="center">Explicar, argumentar</p>

<p>Relacional – Social o Cultural</p>	<p>15. ¿Por qué piensan ustedes que Copérnico no hizo pública su obra “Comentario sobre las teorías de los movimientos de los objetos celestes a partir de sus disposiciones”?</p> <p>16. ¿Podrían explicar por qué el teólogo luterano Osiander habría modificado el prólogo de la última obra copernicana sin que su autor se enterara?</p> <p>17. ¿Cómo explicarían la preocupación por parte de la Iglesia Católica en reformular el calendario juliano, y el porqué de la invitación del Papa León X a Copérnico para que fuese parte de aquel proceso?</p> <p>18. ¿Cómo explicarían el sistema heliocéntrico para un público de 5, 15 y 25 años respectivamente?</p> <p>19. El heliocentrismo, ¿fue la cosmovisión con la llegaron la mayoría de los navegantes europeos a las costas de América en 1492? Argumenten brevemente.</p> <p>20. Si –en la actualidad- les encomendaran refutar el heliocentrismo frente a un grupo diverso personas, ¿lo harían? ¿Por qué?</p>	<p>Explicar, argumentar, justificar</p>
--	--	---

Cuadro 7: Preguntas por PDPC para narrativa histórica 1

4.1.2 Propuesta 2

Objetivos para narrativa histórica 2

Narrativa histórica 2		
<i>Sí, Giordano Bruno, fue adepto al heliocentrismo, pero, ¿fue mártir por la defensa de éste?</i>		
Objetivo general		<ul style="list-style-type: none"> Comprender la influencia socio-cultural en la libertad intelectual y filosófica durante las primeras defensas del heliocentrismo copernicano.
Eje de Alfabetización Científica a promover	Eje 1 "Conceptos y conocimientos científicos"	<ul style="list-style-type: none"> Heliocentrismo Movimiento terrestre Revolución copernicana
	Eje 2 "Naturaleza de las Ciencias"	<ul style="list-style-type: none"> Comprender que un mismo fenómeno natural puede ser interpretado de distintas maneras. Comprender la influencia de los valores y contexto socio-cultural de una época, en la libertad intelectual de algunas personas importantes en la historia de la ciencia. Entender que la defensa del heliocentrismo, si bien implicó colectividad, no todas las personas vivieron en una misma época y ubicación geográfica. Identificar que si bien se puede apoyar un modelo o teoría, ésta puede ser ampliada con otras ideas. Conocer que Giordano Bruno no fue mártir de la "ciencia" o del heliocentrismo. Tener presente que, en la época, varios pensadores eran parte de la tradición hermética. Saber que la última obra copernicana, demoró muchos años para que entrara en el Índice de los libros prohibido.

Cuadro 8: *Objetivos directrices desde la A.C, para narrativa histórica 2*

Narrativa histórica 2

Sí, Giordano Bruno, fue adepto al heliocentrismo, pero, ¿fue mártir por la defensa de éste?

El último manuscrito escrito por Copérnico, luego de publicado, *parece no haber tenido una repercusión social e intelectual inmediata* (ZANETIC, 1995). De hecho, como menciona Koestler (1989), la defensa por los postulados de Copérnico, aparecerán con más intensidad cuando entran en “escena” Johannes Kepler y Galileo Galilei.

Con lo anterior, no pretendemos estimular la idea de que no hubo otras tentativas de apoyo al copernicanismo antes de Kepler y Galileo. De hecho, *también hubo otros pensadores adeptos al heliocentrismo*, como por ejemplo; el astrónomo y matemático inglés, Thomas Digges (1546-1595), y el astrónomo, filósofo, matemático, poeta y astrólogo italiano, Giordano Bruno (1548-1600), *quienes no sólo pretendieron legitimar este modelo cosmológico, sino que también incorporar algunas ideas que parecen no haber sido defendidas por Copérnico*.

Por ejemplo, Digges, al representarse una ausencia de frontera en el universo, expande el lugar de las estrellas para un espacio infinito, agregando la idea de que éstas, se podrían distribuir a diversas distancias (KOYRÉ, 2006).

Por su parte, como indica Koyré (2006), Giordano Bruno, en la obra *La cena de le Ceneri* (es español, la cena de las cenizas), además de realizar una mayor discusión, refutación y objeción a los clásicos postulados aristotélicos-ptolemaicos que iban en contra de la Tierra en movimiento, defenderá la idea de que, la Tierra, es un planeta más entre los otros, y que sería parte de un universo infinito, es decir, de un lugar en donde no existe centro privilegiado.

Por último, Giordano, postula que, al igual que en Tierra, existen muchos otros mundos donde todos podrían ser habitados (MARTINS, 2012).

En esta narrativa, queremos llamar la atención en dos aspectos que nos parecen pertinentes relacionados a Giordano: el contexto socio-cultural donde se desarrolló y la supuesta idea de que éste pensador fue asesinado por defender el heliocentrismo. Para esto, realizamos un micro-viaje en su historia de vida.

Bruno, inició estudios en teología desde su adolescencia, pero, al comenzar algunas refutaciones en contra los principios religiosos, tales como; el culto a los santos y a las imágenes, en su transcurso de formación, tendría algunas acusaciones de herejía. Sin embargo, tales acusaciones, no tendrían consecuencias, por lo que podría proseguir sus estudios.

Por otra parte, *Bruno, al ser una persona con gran curiosidad intelectual, buscó espacios en diversas áreas de conocimiento que le permitieran desarrollar su filosofía, incluyendo obras de la tradición hermética*²² (YATES, 1983).

Dentro de su propia aventura, *entró en contacto con diversas obras intelectuales, que influirían en las profundas y críticas reflexiones en torno al paradigma cosmológico de la época.*

No obstante, *ese proceso de autoconfiguración de itinerario intelectual, no estaría caracterizado por la tolerancia a la diversidad de pensamiento, al contrario, su filosofía, al ser diferente y antagónica al de la época, lo habría llevado a enfrentar varias y continuas controversias e intolerancias.* Con esto, ya podemos percibir la *influencia del contexto socio-cultural en la libertad intelectual.*

Al respecto, Contreras (2014, p.1, subrayado nuestro), destaca lo siguiente en relación a Giordano:

[...] su peregrinar por varias ciudades de Europa, las disputas y hostilidades que encontró en los lugares en que estuvo, habla por sí mismo de un hombre y de sus ideas que no encontraban aceptación, quizá por lo novedoso y peligroso de las mismas. Después de haber enseñado en varias universidades europeas, donde la mayoría de ellas tenían encumbrada la figura de Aristóteles, no se le toleró ni se le brindó una estancia prolongada en la cual pudiera enseñar, exponer o desarrollar más tranquilamente su filosofía.

Pese a lo anterior, el filósofo, continuó con sus escritos y reflexiones, apoyándose –muchas veces - en el copernicanismo para exponer y defender sus innovadoras ideas.

²² Sugerimos leer un poco sobre el hermetismo en:
<http://cesbarcelona.com/textotrimestre/laruedacapiv.html>

Giordano Bruno, cuando estuvo en Alemania en 1590 defendiendo sus ideas, recibió una invitación a Italia por el noble veneciano Giovanni Mocenigo para que le enseñara sobre mnemotecnia (y muy probable que magia también) por lo que Giordano era muy conocido en Europa. *Bruno aceptó, probablemente, porque Venecia era un lugar en donde se comercializaban libremente sus textos, y además, era una excelente oportunidad para proponer una reforma que contemplara su filosofía, pues, el Obispo Ippolito Aldobrandini, quien habría sido conocido por ser condescendiente con los herejes y manifestar una cierta apertura a las nuevas ideas, recientemente, había sido electo como el nuevo Papa en Roma* (CONTRERAS, 2014).

De esta manera, con el objetivo de ir a Venecia y luego a Roma, Giordano Bruno, viaja a Italia a finales de 1591, pero, lamentablemente, su estancia en terrenos venecianos sería muy breve, ya que, en el mes de mayo del año siguiente, *Mocenigo, lo denuncia ante el Tribunal de la Santa Inquisición de la ciudad, indicando que, el filósofo acusado, es un mago que va en contra de los dogmas de fe, y por lo tanto, es un hereje.*

Según Contreras (2014), el juicio a Giordano Bruno, comenzaría tres días después de su arresto en Venecia hasta febrero de 1593, en donde, por motivos que se desconocen, es trasladado a la Inquisición de Roma. Al haberse perdido las actas del proceso en Roma, existen grandes especulaciones sobre tortura, pues, la siguiente sesión de la que se tuvo noticia formal, sería 6 años más tarde de su arresto en Venecia.

Como Vinatea (2005) indica, en la última sesión mencionada, es decir, en el año 1599, los miembros del Santo Oficio, explicitan un resumen de las 8 proposiciones, por las que Giordano debería abjurar:

1. El origen de las cosas y eternidad del mundo, en donde afirma que los principios reales y eternos de donde nacen todas las cosas, son el alma del mundo y la materia prima;
2. Dios, al ser infinito en poder, también debe haber creado un universo infinito. Asimismo, deben existir innumerables otros mundos, en donde existan cosas parecidas al nuestro, en género y en especie;

3. el alma individual, no preexiste al individuo, ésta sólo existe con su vida y después de su muerte. Este reconocimiento de la existencia individualizada post mortem, del alma humana personal, excluye su retorno al alma universal para una nueva animación;
4. en relación a la sustancia en el mundo, nada se engendra sin se corrompe;
5. la Tierra se mueve;
6. los astros, también son ángeles, cuerpos animados y racionales que, en el cielo, revelan la gloria y el poder de Dios;
7. atribución a la Tierra de un alma no solamente sensitiva, sino también, intelectual como la nuestra, pues la tierra debe ser considerada como un animal racional que da muestras de inteligencia en el movimiento alrededor del sol y en torno al eje de sus polos;
8. el alma, no es una “forma”, sino que un espíritu que está en un cuerpo, como un habitante en su casa o un cautivo en su prisión;

Al respecto, Contreras (2014, p.14), indica:

Si bien la mayoría de las supuestas ocho proposiciones por las que el Nolano fue sentenciado son de orden cosmológico, también podemos decir que en ellas se encuentran algunos elementos que afectan los dogmas de la Iglesia Católica.

Es más, tal como indica Vinatea (2005), *no sería “la causa” que llevaría a la verdadera condena de Giordano Bruno, sino que varias. Estaban en juego aspectos filosóficos, teológicos y políticos, por lo que es difícil pensar cuál de ellos tuvo más influencia en la sentencia final, pero, sin duda, su muerte es el reflejo fiel de las tensiones políticos-religiosas que instaladas en el corazón de Europa, que amenazaban a Francia, Inglaterra y España.*

Volviendo a momentos previo a la sentencia final, aun cuando varias personas hablaron con Giordano para estimular su abnegación en torno a las proposiciones por las que siendo acusado, el filósofo, se mantiene consecuente a la afirmación de las mismas.

Por lo tanto, sobre este escenario, el 20 de enero de 1600, sin poder hacer que Giordano Bruno de Nola abjurara, el Papa Clemente VIII, ordenó que se promulgara la sentencia y se consignara al acusado al brazo secular²³, el cual, finalmente, condenaría y ejecutaría su muerte.

Así, tras 9 días en la cárcel secular, fue trasladado al Campo de las Flores en la madrugada del 17 de febrero de 1600, en donde a sus 52 años, sería quemado vivo en la hoguera.

Sus libros y escritos, fueron declarados heréticos, por lo que ordenan quemarlos, e integrar sus nombres en el Índice. Con esto, la mayor parte de su obra fue poco conocida hasta mediados del siglo XVIII, a excepción de unos cuantos raros ejemplares que circulaban de manera clandestina (CONTRERAS, 2014).

Un aspecto a destacar, es el hecho de que, una de las causas que aumentaría la sensibilidad de la Iglesia hacia el copernicanismo después de 1610, pudo ser en retraso en la percepción sobre las implicancias de los movimientos de la Tierra, las que habían sido raramente explicitadas. En este sentido, es importante mencionar que, *Giordano Bruno, no fue ejecutado por el copernicanismo, sino por una serie de herejías teológicas centradas en su visión de la Trinidad*²⁴.

A propósito, *cabe destacar que, la Iglesia, no condenaría al copernicanismo hasta 16 años después de la muerte de Bruno*, en donde ponen al famoso libro *De revolutionibus* de Copérnico, en el Índice de los libros prohibidos.

Por lo tanto, *Giordano, no fue un mártir de la ciencia como en diversos materiales educativos y de divulgación es señalado, sino que, de su libertad intelectual y convicción filosófica.*

Finalmente, a modo de comentario, llamamos la atención en que Bruno, vivió en la época del astrónomo Tycho Brahe, pero, al parecer, no hubo encuentros presenciales entre estos. Aun así, en el caso que lo hubiesen tenido, ¿podrían haber

²³ El brazo secular de la Inquisición, correspondía a una **autoridad civil** que dictaba las sentencias y ejecutaba las condenas por indicación del Tribunal del Santo Oficio.

²⁴ La Trinidad, corresponde al dogma central de varias iglesias cristianas, que estipula que Dios es un ser único que existe como tres personas; Padre, Hijo, y Espíritu Santo.

llegado a trabajar juntos siendo que sus filosofías y nociones cosmológicas, eran diferentes y antagónicas?

Bibliografía usada para narrativa histórica 2

CONTRERAS, J. Giordano Bruno “*el furioso*”. **Revista de Filosofía y Letras**, n. 65 – 66, p. 1-21, 2014.

KOESTLER, A. **O homem e o universo**. Trad. de Alberto Denis. São Paulo: Ibrasa, 1989, 426p.

KOYRÉ, A. **Do mundo fechado ao universo infinito**. Trad. de Donaldson M. Garschagen, 4. ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2006. 156p.

MARTINS, R. **O Universo. Teorias sobre sua origem e evolução**. São Paulo: Livraria da Física, 2012. 228p.

VINATEA, E. **Memoria, Imaginación y Sabiduría**. Tesis (Doctorado en Filosofía), Facultad de Filosofía, Universidad Complutense de Madrid, 2005.

YATES, F. **Giordano Bruno y la tradición hermética**. Trad. Domené Bergadá. Barcelona: Ariel Filosofía, 1983. 529 p.

ZANETIC, J. **Gravitação** – Notas de aula. Instituto de Física da Universidade de São Paulo, 1995.

Preguntas por PDPC sugeridas para ser usadas o adaptadas en la narrativa histórica 2

PDPC	Preguntas sugeridas	Indicadores de A.C en promoción
<i>Instrumental – Operativo</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. ¿Por qué la obra copernicana no causó una repercusión inmediata? 2. ¿Cuál fue el papel de Thomas Digges en la revolución copernicana? 3. ¿Por qué Giordano Bruno, en cierta medida, se “adhiera” al copernicanismo? 4. ¿Podríamos afirmar que Giordano Bruno fue mártir de la “ciencia”? Argumenta. 5. ¿Cuál fue la contribución de Bruno en la revolución copernicana? 6. ¿El Índice de la Santa Inquisición fue creado por causa del heliocentrismo? Explica. 	<p align="center">Enunciar, explicar, comparar, argumentar</p>
<i>Personal - Significativo</i>	<ol style="list-style-type: none"> 7. Bruno, ante la Santa Inquisición, defendió hasta último momento sus ideales, ¿qué habrías hecho tú en su lugar?, ¿por qué? 8. ¿Crees que Bruno fue un aporte para la “ciencia”? Argumenta. 9. Considerando la pregunta anterior, ¿en qué antecedente te has basado para formar esa opinión? ¿crees pertinente buscar en otras fuentes? ¿Por qué? 10. ¿Qué opinas sobre la “neutralidad” en la construcción y/o divulgación de un conocimiento? 11. ¿Cómo explicarías tú el hecho de que, el heliocentrismo copernicano, no haya sido aceptado inmediatamente en los diversos círculos intelectuales? 12. ¿Qué opinas de la Santa Inquisición y su influencia en la producción de conocimiento en Europa? 	<p align="center">Explicar, argumentar</p>
<i>Relacional – Social o Cultural</i>	<ol style="list-style-type: none"> 13. ¿Creen ustedes que la consecuencia entre ideales y acciones que tuvo Giordano Bruno, es una característica de la comunidad científica en la actualidad? ¿En qué información o evidencias se han basado para pensar así? 14. Imaginen que deben disertar para profesores(as) de historia y religión, ¿cómo explicarían el/los motivos por la que Mocenigo denuncia a Giordano Bruno ante la Santa Inquisición? 	<p align="center">Relacionar, explicar, elaborar</p>

	<p>15. ¿Qué creen que ocurrió en los círculos intelectuales tras que mandaran a quemar en la hoguera a Giordano Bruno?</p> <p>16. ¿Qué relación(es) podrían hacer entre Santa Inquisición, libertad intelectual y heliocentrismo?</p>	
--	---	--

Cuadro 9: Preguntas por PDPC para narrativa histórica 2

4.1.3 Propuesta 3

Objetivos para narrativa histórica 3

Narrativa histórica 3		
<i>Si Brahe no era adepto al heliocentrismo, ¿qué sentido tiene estudiarlo en el marco de la Revolución Copernicana?</i>		
Objetivo general		<ul style="list-style-type: none"> Comprender las contribuciones de Tycho Brahe en la consolidación del heliocentrismo copernicano.
Eje de Alfabetización Científica a promover	Eje 1 "Conceptos y conocimientos científicos"	<ul style="list-style-type: none"> Geocentrismo Heliocentrismo Modelo híbrido del universo Movimiento de los astros y observaciones astronómicas Mundo sub-lunar y supra-lunar
	Eje 2 "Naturaleza de las Ciencias"	<ul style="list-style-type: none"> Comprender que un mismo fenómeno natural puede ser interpretado de distintas maneras, es decir, la observación de este no es neutra. Comprender la influencia ideológica y/o socio-cultural en la producción y transferencia de conocimiento. Entender que puede existir más de un modelo para explicar un mismo fenómeno. Apreciar el rol significativo que tuvo la técnica durante el Renacimiento para la obtención de datos y/o evidencias en astronomía. Comprender que no basta una sola evidencia para defender o aceptar una idea. Identificar la importancia de la precisión en la obtención de datos para producir un nuevo conocimiento. Percibir que los pensadores, aun siendo referencias en su área, tienen limitaciones para probar sus ideas. Reconocer el potencial de la colaboración entre pensadores. Comprender que la colaboración entre las personas, no siempre implica el mismo compartir de valores y convicciones.

Cuadro 10: *Objetivos directrices desde la A.C, para narrativa histórica 3*

Narrativa histórica 3

Si Brahe no era adepto al heliocentrismo, ¿qué sentido tiene estudiarlo en el marco de la Revolución Copernicana?

Tycho Brahe (1546-1601), nació en lo que hoy es Dinamarca. Cuando tenía un poco más de un año de edad, sus padres, tras una petición de su tío George Brahe, ceden a que Tycho sea cuidado por él, quien tenía una buena condición socio-cultural y económica. En este contexto, Tycho Brahe, aprendió latín y consolidó su formación valórica y espiritual en ambientes luteranos.

Años más tarde, a pesar de no sentir mayor atracción a los estudios, ingresó a la universidad Luterana de Copenhague con 13 años, realizando estudios de filosofía y retórica. Sin embargo, en 1560, tras vivenciar un eclipse parcial de Sol ya pronosticado (PEDUZZI, 2008), parece haberse motivado por las cuestiones astronómicas, especialmente, por las de carácter predictivo.

En agosto de 1563, *la predicción sobre la conjunción planetaria entre Júpiter y Saturno, erraron tanto en las tablas astronómicas Alfonsinas²⁵, como en las tablas elaboradas por Copérnico*, situación que motivó a Tycho a producir tablas astronómicas mucho más exactas y sistemáticas de los planetas (PEDUZZI, 2008), por lo *comienza a profundizar más en astronomía, a partir de la lectura del Almagesto de Ptolomeo*.

Su tío George Brahe, por problemas de salud, fallece cuando Tycho tenía 19 años, volviéndose así, único heredero de toda la fortuna. Tras esto, en 1566, *viaja a la universidad de Wittenberg en Alemania, en donde realizaría estudios sobre astrología, alquimia y medicina*, ampliando así su bagaje cultural.

En el año 1572, ocurrió un evento astronómico que lo dejó con varias interrogantes: una “estrella” muy brillante²⁶, nunca antes vista desde la Tierra, apareció en el cielo, y se quedaría por – aproximadamente - 18 meses.

²⁵ Estas tablas, fueron construidas a partir de la orden del rey Alfonso X de Castilla, quien había estado protegiendo y cultivando diferentes ámbitos del conocimiento como la historia, la poesía, la legislación y la ciencia. De esta manera, las tablas son llamadas de Alfonsinas en homenaje a él (Fernández, 2005).

²⁶ Hoy sabemos que tal estrella visualizada en ese periodo, fue una supernova de la constelación de Cassiopeia.

Este evento natural, iba en contra de la convicción y paradigma aristotélico-ptolemaico en torno a la perfección de los cielos y al de las estrellas fijas e inmutables, por lo que, este nuevo astro observado, podría “desmoronar” las teorías postuladas en la Antigüedad y, en consecuencia, uno de los respaldos de la Iglesia.

Sin embargo, Tycho Brahe, antes de convencerse de ésta discrepancia, le surgió la duda si – realmente - ese cuerpo celeste estaba en la esfera de las estrellas, o estaba en la atmósfera terrestre, en donde según los griegos, las mudanzas podían ocurrir.

Para esto, Tycho acudió a utilizar un sextante muy bien calibrado que había construido en Alemania y, con las nuevas observaciones, demostró que la “nueva estrella” observada, se movía mucho más lento que la Luna y los planetas en comparación a las estrellas, por lo que, este cuerpo celeste, tenía que estar en la esfera de las estrellas (TOSSATO, 2010).

A partir de los datos evidenciados, Tycho, comienza a cuestionar las hipótesis heredadas de la cultura griega, ya que, si los antiguos sabios habían errado en uno de sus principales postulados, probablemente, también lo habrían hecho con otros.

Pese a esto, como señala Zanetic (1995), Tycho, sólo se propuso “corregir” el paradigma aristotélico-ptolemaico dominante, pues aún creía que, la Tierra, era el centro de un universo finito.

Después de algunos pocos años, se suma otra evidencia astronómica: el 13 de noviembre del año 1577, fue observado un cometa desde Europa, el que también sería observado por Tycho desde su observatorio²⁷. Este hecho, al parecer, le hizo recordar que, Aristóteles, decía que los cometas eran meteoros que viajaban entre la Tierra y la Luna, es decir, que estos se moverían-aproximadamente- en el mismo lugar en donde ocurren los fenómenos climáticos.

Sin embargo, Brahe, nuevamente *refuta con evidencia la hipótesis Aristotélica*, puesto que, al *utilizar instrumentos, verificó que el cometa observado no presentaba*

²⁷ Brahe, disponía de su propio observatorio Uraniborg (el “castillo de los cielos”) en la isla Hven (ROCHA et al., 2015)

paralaje, por lo que este cuerpo celeste, estaba mucho más lejos que la Luna (PEDUZZI, 2008).

En este contexto, *la evidencia de la “nueva estrella”, en conjunto al dato astronómico sobre el cometa, estimularon el debate entre los seguidores de diversos pensadores; tanto de los defensores del sistema aristotélico-ptolemaico, como los que eran adeptos a los postulados de Copérnico* (TOSSATO, 2004).

Por su parte, Brahe, plantea las bases para una nueva teoría del movimiento planetario: un *modelo híbrido del universo*²⁸, el cual sería una versión alternativa a los sistemas aristotélico-ptolemaicos geocéntrico y al heliocentrismo copernicano.

Según señala Tossato (2004), en este nuevo modelo, la Luna y el Sol giran alrededor de la Tierra, mientras que, los otros planetas; Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno, lo hacen en torno del Sol (ver ilustración 5).

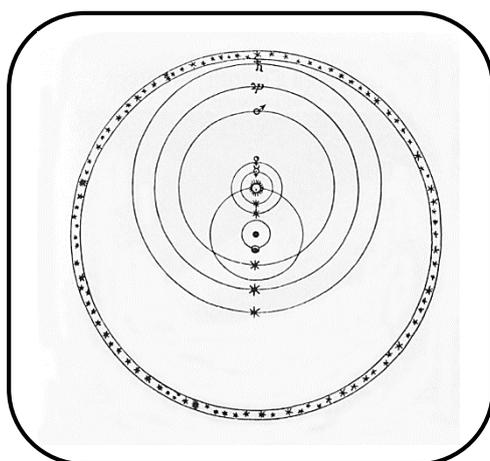


Ilustración 5: Representación del modelo híbrido de Tycho Brahe

Fuente: http://www.on.br/ead_2013/site/conteudo/cap7-historia/astrologia-renascenca/tycho-brahe/imagens/tycho1.jpg

Abriendo un paréntesis, Chatel (1990) y Zanetic (1995) coinciden en que Brahe, es considerado como uno de los mejores astrónomos observacionales antes del invento del telescopio. Para tener una idea, Tycho, habría obtenido medidas que poseían errores entre 1 a 4 minutos de arcos, es decir, de 3 a 12 milímetros cada 10 metros.

No obstante, como señala Tossato (2010), Brahe, *difícilmente habría podido llegar a la precisión de sus observaciones, si no hubiese construido y/o mejorado instrumentos para la observación astronómica, como por ejemplo, el cuadrante (ilustración 6 y 7) y el sextante (ilustración 8).*

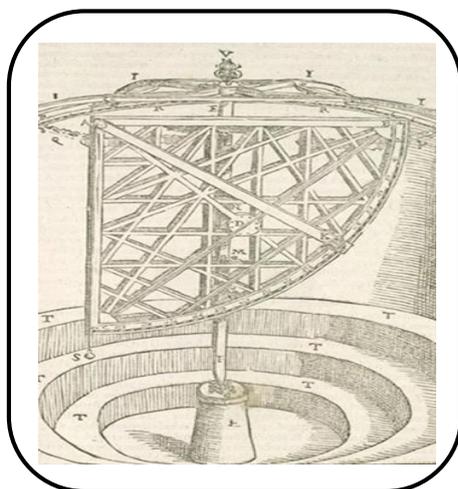


Ilustración 6: Representación del cuadrante mejorado por Tycho

Fuente: <http://www.sil.si.edu/DigitalCollections/HST/Brahe/sil4-3-27a.htm>

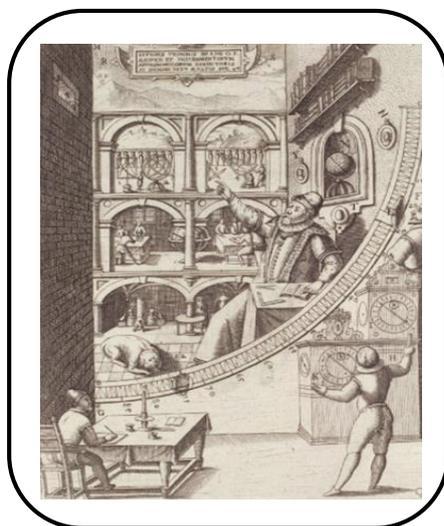


Ilustración 7: Representación del cuadrante mural de Tycho Brahe

Fuente: <http://www.sil.si.edu/DigitalCollections/HST/Brahe/sil4-3-24a.htm>

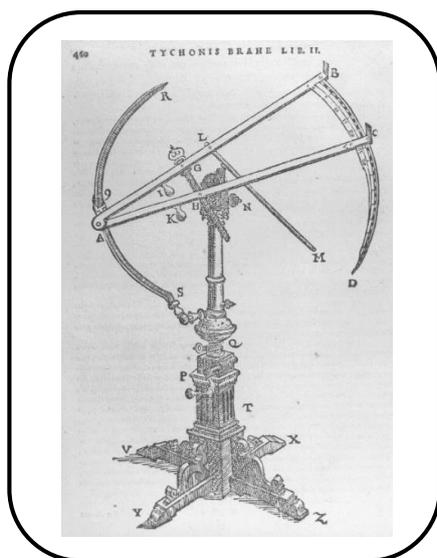


Ilustración 8: Representación del sextante de Tycho Brahe

Fuente: <http://www.hps.cam.ac.uk/starry/tychobooks.html>

Lamentablemente, como señala Tossato (2010), los instrumentos que fueron contruidos y/o perfeccionados por Tycho²⁹, no han sido encontrados.

Ahora, retornando al modelo híbrido que Brahe defendía, *cabe destacar que éste astrónomo carecía de una teoría matemática que permitiera validar su modelo planetario.*

Es aquí donde cobró mucho sentido para él la lectura del libro *Mysterium Cosmographicum*³⁰ (en español, Misterio Cosmográfico) que le había enviado desde Alemania el joven Johannes Kepler, ya que, aun con *algunos desacuerdos* (KOYRÉ, 2006), se habría convencido de que, *la persona capaz de resolver una teoría matemática que permitiera usar sus datos astronómicos para validar el modelo planetario híbrido, sería Kepler.*

Brahe, comenzó a *escribir una invitación, con intenciones de que Kepler trabajara para él* (ROCHA et al., 2015), la que será enviada el 9 de diciembre de 1599.

²⁹ Hoy se sabe sobre el diseño de estos, por medio de la obra escrita por Brahe en 1598 *Astronomiae instauratae mechanica* (en español, Renovación de la astronomía mecánica), en donde el astrónomo presenta los detalles sobre la construcción y utilización de sus instrumentos de observación.

³⁰ Kepler, escribió este libro a los 27 años, y con la finalidad de promover un mayor reconocimiento obra, envía ejemplares para los astrónomos más destacados de la época, entre los cuales estaban Tycho Brahe y Ursus, pero también envía una copia a Italia para Galileo Galilei, quien recién consolidaba su carrera en esa época en la universidad de Padua (TOSSATO, 2004)

En ésta, también, aprovecha de realizar una crítica metodológica sobre el libro *Mysterium*, la que será considerada por *Kepler en sus reflexiones y obras venideras*, puesto que, no sólo incluirá aspectos teórico-matemáticos, sino que también, empíricos (TOSSATO, 2004).

Por su parte, *Johannes Kepler*, quien consciente e intencionalmente había enviado su libro a *Brahe*, al recibir la invitación del astrónomo, vio una gran oportunidad, no sólo para tener acceso a los datos observacionales que Tycho había conseguido durante años (TOSSATO, 2004), sino que también para tener una “estabilidad” tras el abandono que tuvo que hacer de Graz por las presiones de la Iglesia Católica al protestantismo (ROCHA et al, 2015).

El encuentro fue en enero de 1600 en Praga, cuando Kepler tenía 28 años y Brahe 54 años, instancia en que *perciben que si bien ambos tenían interés por el cosmos y el luteranismo, también tenían diferencias de carácter socio-económico y de personalidad*. Pese a esto, iniciaron un vínculo intelectual que, como indica Tossato (2004), duró cerca de 18 meses, ya que en 1601 Brahe fallece, sin que Kepler haya podido responder a su solicitud.

Tras esto, Kepler, sería el “heredero” de los datos y tablas compiladas por el astrónomo durante años (ZANETIC, 1995), siendo contratado por el rey Rodolfo II, como el nuevo matemático imperial en Praga.

Bibliografía usada para la narrativa histórica 3

CHATEL, P. **O castelo das estrelas: a estranha história de Ticho Brahe, astrônomo e grande senhor**. São Paulo: Nova Stella-Edusp, 1990. 309p.

FERNÁNDEZ, L. Las tablas astronómicas de Alfonso X El Sabio. Los ejemplares del Museo Naval de Madrid. **Anales de Historia del Arte**, n.15, p.29-50, 2005.

KOYRÉ, A. **Do mundo fechado ao universo infinito**. Trad. de Donaldson M. Garschagen, 4. ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2006. 156p.

PEDUZZI, L. **Evolução dos conceitos da Física. Força e movimento: De Thales a Galileu**. Publicação interna, depto. Física, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008. 165p. http://fisica.uems.br/praxedes/tales_galileu.pdf

ROCHA, J.F; LEON, R; RUBIM, S; SILVA, R; FREIRE, O; RIBEIRO, A. **Origens e evolução das ideias da física**. Salvador: EDUFBA, 2ed, 2015. 374p.

TOSSATO, C. Discussão cosmológica e renovação metodológica na carta de 9 de dezembro de 1599 de Brahe a Kepler. **Scientiae.studia**, v.3, n.4, p. 537-565, 2004.

TOSSATO, C. A importância dos instrumentos astronômicos de Tycho Brahe para a astronomia e a cosmologia dos séculos XVI e XVII. In: IV SEMINÁRIO DE HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA, 2010, Ilhéus. **Anais** IV Seminário de História e Filosofia da Ciência, 2010. p. 1-3.

ZANETIC, J. **Gravitação** – Notas de aula. Instituto de Física da Universidade de São Paulo, 1995.

Preguntas por PDPC sugeridas para ser usadas o adaptadas en la narrativa histórica 3

PDPC	Preguntas sugeridas	Indicadores de A.C en promoción
<i>Instrumental - Operativo</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. ¿A qué se debió las incongruencias de las tablas alfonsinas y de Copérnico con algunas observaciones astronómicas, por ejemplo, el de la conjunción planetaria que despertó interés en Brahe? 2. ¿Cuál parece haber sido la reflexión de Brahe sobre el cometa de 1577, y cómo lo relaciona con el modelo cosmológico “vigente” a esa época? 3. ¿Qué hizo Brahe para comprobar su(s) hipótesis(s) en relación al fenómeno mencionado y a qué conclusión(es) llega? 4. ¿Por qué Tycho Brahe no se adhiere al heliocentrismo copernicano aun cuando se percata de algunas incongruencias en el modelo geocéntrico? 5. ¿Por qué Brahe, tras querer “corregir” el paradigma aristotélico-ptolemaico, y recibir varios cuestionamientos de algunos círculos intelectuales y religiosos, no tiene el mismo destino de Giordano Bruno? 6. ¿El modelo híbrido defendido por Tycho consiguió explicar mejor los fenómenos en comparación a los modelos geocéntrico y heliocéntrico respectivamente? Explica. 7. ¿Cuál fue el rol del “castillo de los cielos” en las contribuciones de Brahe? 8. ¿Cuál(es) evidencia(s) empíricas fue(ron) obtenida(s) gracias a la observación astronómica de Brahe con el uso de la técnica, y cuáles no? 9. ¿Cuáles son las evidencias para afirmar que Tycho Brahe fue uno de los mejores astrónomos antes del telescopio”? 10. ¿La técnica – en la actualidad – cumple un rol significativo en la producción de un nuevo conocimiento? Argumente brevemente. 11. ¿Es posible que un mismo fenómeno natural tenga más de una explicación? Argumenta. 12. ¿Por qué Brahe no pudo validar física y matemáticamente su modelo híbrido? 	<p align="center">Explicar, enunciar, describir, justificar, argumentar</p>

<p>Personal – Significativo</p>	<p>13. ¿Qué aspectos destacarías tú sobre el rol de Brahe en la Revolución Copernicana?</p> <p>14. ¿Cómo explicarías el movimiento retrógrado de los planetas desde el modelo híbrido?</p> <p>15. ¿Cómo crees que se sentía Brahe al carecer de una validación de su modelo planetario?</p> <p>16. ¿Sientes que influyó el nivel socio-económico de Brahe en la actualización y producción de conocimiento que tuvo?</p> <p>17. ¿Crees que Brahe trabajó sólo o con más personas en el “castillo de los cielos”? ¿por qué?</p> <p>18. ¿Qué opinas sobre el rol de que tienen los datos y evidencias en la construcción de un conocimiento científico?</p> <p>19. ¿Qué rol crees pudo tener el luteranismo en las reflexiones de Brahe tras su conclusión en torno al geocentrismo?</p> <p>20. ¿Tú crees que la narrativa que leíste es suficiente para formar una opinión sobre Brahe y aporte?</p>	<p>Explicar, justificar, argumentar</p>
<p>Relacional – Social o Cultural</p>	<p>21. ¿Piensan que el tipo de relación que tuvo Brahe con Kepler es común de encontrar en la comunidad científica de hoy?</p> <p>22. ¿Cómo le explicarían a una nueva generación de jóvenes sobre las influencias de las ideologías y cosmovisiones en la comprensión y/o construcción de un conocimiento de la época de Brahe y Kepler?</p> <p>23. ¿Cómo explicarían a un niño de 10 años sobre el rol de los datos y evidencias para obtener conclusiones?</p> <p>24. ¿Cuál es la importancia o valoración que hoy se le atribuye a la técnica en la sociedad? Argumenten brevemente.</p> <p>25. ¿Qué estrategias generarían para que las personas reconozcan la importancia de la técnica en la producción de un conocimiento?</p> <p>26. ¿Por qué creen que Kepler y Brahe a pesar de tener diferencias, continuaron con una relación intelectual?</p> <p>27. ¿Cómo interpretan el hecho de que Kepler le haya enviado su primera libro –entre otros - a Brahe sin haberlo conocido antes? ¿Creen que esto ocurre en la actualidad? ¿Por qué?</p>	<p>Explicar, argumentar, elaborar</p>

	<p>28. ¿Qué razones piensan ustedes que habrá tenido Brahe para entregarles pocos datos observacionales a Kepler y no todos?</p> <p>29. ¿Están de acuerdo con el hecho de que Kepler haya heredado “todos” los datos astronómicos de Brahe? Argumenten brevemente.</p>	
--	--	--

Cuadro 11: Preguntas por PDPC para narrativa histórica 3

4.1.4 Propuesta 4

Objetivos para narrativa histórica 4

Narrativa histórica 4		
<i>Una aproximación a la génesis de las leyes de movimiento planetario Johannes Kepler</i>		
Objetivo general		<ul style="list-style-type: none"> Comprender algunos aspectos del pensamiento kepleriano en la propuesta de sus leyes planetarias.
Eje de Alfabetización Científica a promover	Eje 1 "Conceptos y conocimientos científicos"	<ul style="list-style-type: none"> Heliocentrismo Movimientos planetarios Modelos cosmológicos Leyes de Kepler
	Eje 2 "Naturaleza de las Ciencias"	<ul style="list-style-type: none"> Percibir el rol de la colaboración para la comprensión y/o construcción de un conocimiento. Comprender la influencia de Gilbert en las reflexiones keplerianas. Entender la importancia de la ruptura de la hegemonía del "círculo". Conocer el rol de las relaciones matemáticas en la elaboración de las leyes de Kepler. Percibir algunas influencias de la tradición hermética en el pensamiento de Kepler.

Cuadro 12: *Objetivos directrices desde la A.C, para narrativa histórica 4*

Narrativa histórica 4

“Una aproximación a la génesis de las leyes de movimiento planetario Johannes Kepler”

Johannes Kepler (1571-1630), nació en el seno de una humilde familia luterana en Alemania. Con 13 años de edad, *en calidad de becario*, ingresó a la escuela alemana Leonbarg, en donde por su particular capacidad, fue derivado al seminario protestante en Maulbronn, en donde *además de ser educado contra la fortaleza del catolicismo romano, reforzó sus estudios en latín, y aprendió griego, retórica y música.*

Profundizó en astronomía en la universidad de Tubinga, donde además, estudió filosofía y matemática. Aquí, se hizo partidario de la teoría heliocéntrica, tras que su profesor (y futuro amigo), el matemático y astrónomo Michael Mästlin, le diera a conocer el trabajo de Nicolás Copérnico (PEDUZZI, 2008; MARTINS, 2015).

En 1595, inicia su carrera docente de matemáticas y astronomía, en la universidad luterana de Graz, Austria, donde también fue *responsable por la elaboración de horóscopos y almanaques astrológicos* (MARTINS, 2015). Este pensador, como menciona Yates (1983), *también perteneció a la tradición hermética.*

Si bien Johannes dejaría su carrera sacerdotal para dedicarse al estudio de la “ciencia”, *nunca dejaría de ser un hombre religioso y creer que, la armonía matemática del universo, era una manifestación de Dios, donde el Sol en su posición central, representaba la sabiduría divina* (ROCHA et al., 2015; MARTINS, 2015).

Kepler sabía que Ptolomeo ni Copérnico pudieron explicar la distancia entre los planetas y la Tierra (o Sol), por lo que se propone perfeccionar la teoría heliocéntrica con base en la geometría (COHEN, 1967; KOESTLER, 1981). Según Martins (2015), Kepler tenía la convicción de que todas las relaciones matemáticas existentes en el universo, pueden ser conocidas.

Así, con base en sus conocimientos, inicia un proceso de “ensayo y error” a partir de la combinación de diversas figuras geométricas planas bidimensionales, hasta que decidió usar los 5 poliedros regulares³¹ o sólidos “platónicos”, llegando demostrar que, la distancia de los planetas al Sol, según el sistema de Copérnico,

³¹ Estos son el tetraedro, cubo, octaedro, dodecaedro e icosaedro (MARTINS, 2015).

están asociadas a las relaciones geométricas de esferas separadas por los poliedros regulares (MARTINS, 2015), conocimiento que publicó en su libro *Mysterium Cosmographicum* en 1596, el que envió intencionalmente a algunos importantes pensadores de la época.

Fue a partir de esta obra intelectual que Kepler llamó la atención de Tycho Brahe, con quien *estableció un vínculo –aunque con motivaciones diferentes- que le permitió obtener los rigurosos datos de observaciones astronómicas realizadas durante años por el danés* (ROCHA et al., 2015).

Si bien Kepler (a petición de Brahe) *inició –sin mucho entusiasmo- el estudio sobre el comportamiento “irregular” de la órbita de planeta Marte, después de la muerte de Brahe, haber heredado sus datos astronómicos y por poseer más información sobre planeta Marte, tornó el “problema” de irregularidad de éste planeta un estudio de varios años.*

Primero, *realizó varios intentos por acomodar los datos disponibles de Marte al modelo brahiano, pero el ajuste carecía de coherencia. Asimismo, ésta incompatibilidad, no tan sólo pasó con el modelo híbrido, sino que también con el modelo copernicano que del que él era adepto.*

En un marco de inquietudes e incertezas, Kepler, también percibió que, las distancias entre la Tierra y Marte variaban mucho, y cuando Marte estaba muy cercano a la Tierra, cualquier error de predicción, llevaba a grandes diferencias observacionales (MARTINS, 2015).

En este escenario, y *tras no haber podido explicar el movimiento de Marte, comenzó a sospechar que, la respuesta, podría estar en el movimiento orbital de la Tierra.*

Para esto, Kepler, *utilizó los datos brahianos en intervalos de tiempo que corresponderían al periodo del movimiento de Marte (687 días), ya que de este modo, en cada observación, al estar Marte en el mismo lugar, se favorecían las condiciones para determinar la posición de la Tierra.*

Así, llegó a considerar que era posible explicar bien los datos, si se suponía que, la órbita terrestre, era excéntrica con respecto al Sol (una idea que ya había sido

introducida por Copérnico). No obstante, la velocidad de la Tierra en ese “círculo”, no podía ser constante, puesto que, era mayor cuando estaba más cerca del Sol.

De esta manera, *hubo nuevas interrogantes* para Kepler: ¿por qué el movimiento de la Tierra alrededor del Sol no es “uniforme”? y ¿por qué la Tierra se mueve más rápido cuando está más cerca del Sol en comparación a cuando está más lejos?

Una vía para explicar la variación de velocidad, podría ser con el uso de ecuantes (ya propuestos por Ptolomeo), pudiendo postular que, en tiempos iguales, la Tierra describe ángulos iguales en relación al ecuante. Además, en tiempos iguales, la Tierra, también, describe arcos y ángulo diferentes en relación al Sol. A modo de observación, como indica Martins (2015), Kepler quería evitar el uso de los ecuantes, porque iban en contra a la idea de Copérnico.

Kepler, imaginó que, *otra manera de explicar la variación de velocidades, era atribuyendo una responsabilidad al Sol, el que podría estar moviendo a la Tierra a través de una fuerza magnética (MARTINS, 2015). Del Sol saldrían rayos luminosos que girarían con el Sol y arrastrarían a la Tierra en su órbita. Así, cuando la Tierra estuviera más cerca al Sol, el efecto sería más grande, y su velocidad aumentaría.*

Es importante notar que *ésta idea de Kepler, fue influencia por los trabajos sobre magnetismo del filósofo y médico inglés William Gilbert, quien también creía que los planetas eran movidos por causa del Sol y que el efecto se reducía mientras aumentaba la distancia.*

Por analogía con experimentos que realizó con imanes perfectos, Gilbert, imagino que, el motor básico que comendaba al sistema solar, era de origen magnético. Llegó a pensar a la propia Tierra constituyendo un gigantesco imán que atraía a todos los cuerpos a su alrededor. Esa gravedad magnética, se propagaría por el espacio de afuera, actuando sobre todo, en el sistema solar (ZANETIC, p. 98, 1995, traducción nuestra).

Retomando, como indica Martins (2015), la velocidad angular de la Tierra en torno de Sol, en todos los puntos de su órbita, sería inversamente proporcional a la distancia al Sol, y como consecuencia, el rayo que conecta a la Tierra con el Sol,

barrería áreas iguales en tiempo iguales. Con esto, se puede identificar una primera aproximación a la “segunda ley de Kepler”³² (ley de las áreas).

Con esto, Kepler, regresó al problema de la órbita de Marte, realizó una tentativa análoga como lo hizo con la Tierra, pero no resulta. Así, en busca de una solución, incorpora otro elemento en su reflexión: la forma de las órbitas.

Entre otras correspondencias, existen dos cartas de 1605, que permiten evidenciar el estadio de pensamiento de Kepler en relación a las órbitas planetarias: una carta enviada a Mästlin y, la otra, a Fabrícus³³.

Según Tossato (2003), en la carta a Mästlin el 15 de marzo de 1605³⁴, Kepler explicita lo siguiente:

En lo que concierne a los movimientos de Marte, me explicaré más claramente... Las distancias no están como en un círculo perfecto, sino como en una oval, de la cual, después de infinitos esfuerzos, encontré la representación... La solución no será posible a no ser que investiguemos las causas que se encuentran en las naturalezas reales, o sea: el cuerpo solar es circularmente magnético y gira sobre sí mismo, haciendo girar con él la orbe de su virtud... En contrapartida, los propios cuerpos de los planetas aptos a permanecer en reposo en cualquier lugar del mundo en que estén localizados. Consecuentemente, para que estos sean movidos por el Sol, es necesaria la acción de una fuerza contraria, resultando que cuando ellos estén más lejos del Sol, se moverán más lentamente y, cuando estén más cerca, más rápidamente (GASPAR y VON DYCK cit. TOSSATO, p. 201, 2003, traducción y subrayado nuestro).

Con esto, Kepler, *da a entender que llevó a cabo varias y esforzadas tentativas para hallar correspondencia entre los datos de Brahe y la forma circular y uniforme para la órbita de Marte, pero que no resultó. Continuando con sus reflexiones, parece haber imaginado que, la forma de la órbita Marte no era círculo perfecto, sino que una oval, iniciando así con la ruptura del axioma platónico del*

³² La ley de las áreas de Kepler (segunda ley), como indicó el mismo autor en su obra “Astronomia Nova”, si bien fue desarrollada antes de la primera ley, sólo se hará oficial con la adopción de la órbita elíptica (TOSSATO, 2003).

³³ David Fabrícus, fue un astrónomo y teólogo luterano, amigo de Brahe y Kepler.

³⁴ Tossato (2003), pudo recuperar esta carta de Kepler en la siguiente referencia: KEPLER, J. Correspondência, 1604-1607. In: M. Caspar; W. Von Dyck (Eds.). **Gesammelte Werke**. Munique, C.H: Beck'sche Verlagsbuchhandlung, v.XV, 1951. 568p.

“círculo” que había sido legitimado por varios pensadores desde la Antigüedad (COHEN, 1967; TOSSATO, 2003).

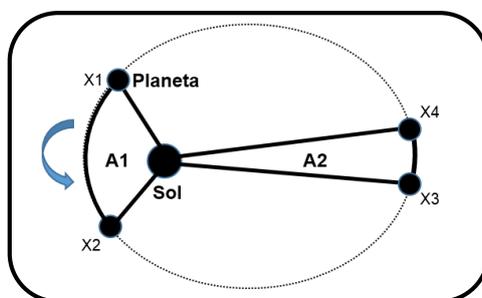
No obstante, la adopción geométrica final de Kepler sobre las órbitas planetarias, no fue la mencionada en ésta carta a Mästlin, sino que la socializada a su amigo Fabricius el 11 de octubre de 1605:

[...] Le diré ahora, los progresos que he realizado acerca de mi planeta Marte. Como vi que, por la admisión de una trayectoria perfectamente circular, las distancias [de Marte al Sol] son muy extensas, y que, esas mismas medidas, para mi elipse que difiere poco de la oval, ellas son muy pequeñas, conseguí – muy ajustadamente – la siguiente conclusión: el círculo y la elipse son figuras geométricas del mismo género; ellas quedan igualmente, pero en sentidos contrarios, contra la verdad; por lo tanto, la verdad se encuentra en el medio. Ahora, entre dos figuras elípticas no se puede encontrar nada más allá que otra elipse... Esa es la verdad [...] (GASPAR y VON DYCK cit. TOSSATO, p. 202, 2003, traducción nuestra).

Ahora, asumiendo la elipse como la forma de la órbita de Marte y utilizando la aproximación de la “ley de las áreas”, los movimientos en predicción, llegaron a concordar muy bien con las observaciones de Brahe.

Este conocimiento, fue publicado por Kepler el libro *Astronomia Nova* (en español, Nueva astronomía), en el cual, expuso tanto el producto final, como los procedimientos y etapas que tuvo que pasar hasta obtener las dos primeras leyes de los movimientos planetarios (TOSSATO, 2003).

Mientras que la primera ley planetaria, la legitima indicando que las órbitas de los planetas son elipses³⁵, con el Sol localizado en uno de sus focos, en la segunda ley, afirma que la línea (imaginaria) que une el planeta con el Sol, barre áreas iguales en tiempos iguales (ver ilustración 9).



³⁵ Para recordar algunos aspectos de la elipse y su relación con la primer ley planetaria de Kepler, recomendamos revisar: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/kepler.html#c4>

Ilustración 9: En un mismo intervalo de tiempo, el área barrida A1 por un planeta alrededor del Sol, es igual al área barrida A2 por el mismo planeta

Fuente: Elaborado por el autor

Kepler, influenciado por su idealismo en torno a la armonía cósmica, se introdujo en otra situación problemática: ¿cuál será la relación entre la distancia de un planeta al Sol y el tiempo que demora en dar una vuelta alrededor de este astro?

Según Cohen (1967), Kepler, en busca de una solución, usó valores de distancias medias al Sol y periodos de revolución, de cada uno de los planetas “descubiertos” hasta la su época, como se visualiza en la tabla 1.

	Mercurio	Venus	Tierra	Marte	Júpiter	Saturno
Tiempo de una revolución ,T (en años)	0,24	0,615	1,00	1,88	11,68	29,457
Distancia media al Sol, D (en unidades astronómicas)	0,387	0,723	1,00	1,524	5,203	9,539

Tabla 1: Relación entre el tiempo de una revolución planetaria v/s distancia media al Sol

Fuente: Adaptado de COHEN, 1967, p. 148

Con base en tabla 1, Kepler, careció de una relación entre las variables T y D, por lo que intentó probar qué pasaría si utilizaba los cuadrados de esos valores, o sea, T^2 y D^2 , cuya nueva tabulación, se visualiza a continuación (tabla 2):

	Mercurio	Venus	Tierra	Marte	Júpiter	Saturno
T^2	0,058	0,38	1,00	3,54	140	868
D^2	0,147	0,528	1,00	2,323	27,071	90,792

Tabla 2: Relación entre el cuadrado del tiempo de una revolución planetaria v/s el cuadrado de la distancia media al Sol

Fuente: Adaptado de COHEN, 1967, p. 149

Con la información evidenciada, al parecer, tampoco pudo discernir una relación entre las variables. Asimismo, al intentar con T^2 y D, o, T y D^2 , tampoco lo consiguió. *No obstante, su convencimiento sobre la relación entre éstas, era tal que, evitó desistir.*

Su próximo intento, fue utilizar la siguiente potencia, es decir, T^3 y D^3 . En esta tentativa, si bien nada nuevo encontró para T^3 , ocurrió algo diferente para D^3 , puesto que, tal como muestra la tabla 3, consiguió una relación con lo evidenciado en T^2 .

	Mercurio	Venus	Tierra	Marte	Júpiter	Saturno
T^2	0,058	0,38	1,00	3,54	140	868
D^3	0,058	0,38	1,00	3,54	140	868

Tabla 3: Relación entre el cuadrado del tiempo de una revolución planetaria v/s el cubo de la distancia media al Sol

Fuente: Adaptado de COHEN, 1967, p.49

De esta manera, Kepler, *tras años de estudio, consiguió responder a otro de sus problemas*. Este nuevo conocimiento producido por él, lleva por nombre la tercera ley de Kepler, y se puede enunciar como:

[...] los cuadrados de los tiempos de revolución de cualquier planeta alrededor del Sol (incluso la Tierra), son proporcionales a los cubos de sus distancias medias al Sol (COHEN, 1967, p.149, traducción nuestra).

O bien, desde un lenguaje matemático, se puede decir que:

$$D^3 / T^2 = K; K=\text{Constante}$$

De esta manera, su nuevo hallazgo, sería socializado en el año 1619 en Linz, en su libro llamado *Harmonices Mundi* (en español, La armonía de los mundos), el que habría publicado tras que su madre fuera prisionera durante 14 meses, por haber sido acusada de brujería.

La obra *Armonía del mundo*, fue un intento de expresión, sobre el “secreto del universo”, pues, lo intenta describir, comprender e interpretar desde una síntesis general y articulada de geometría, música, astrología, astronomía y epistemología (KOESTLER, 1981).

Por otro lado, Cohen (1967), aun cuando reconoce la importancia de las contribuciones de Kepler en aquella época, indica que éstas, carecían de explicación sobre por qué los planetas se movían en órbitas elípticas y barrían áreas iguales en tiempos iguales, ni tampoco sobre por qué se mantiene la relación entre distancia y periodo.

Finalmente, cabe señalar que *las ideas de Kepler, en general, carecieron de aceptación, siendo Galileo uno de los pensadores que se opuso a casi toda sus ideas* (MARTINS, 2015).

Bibliografía usada para la narrativa histórica 4

COHEN, B. **O nascimento de uma nova física**. São Paulo: Edart, 1967. 203p.

KOESTLER, A. **Los sonámbulos**. Trad. de Alberto Luis Bixio. D.F. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 1981. 581p.

MARTINS, R. **A revolução copernicana** – Curso de História da Física. Grupo de História, Teoria e Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo, 2015. <https://uepb.academia.edu/RobertoMartins/Curso-de-Hist%C3%B3ria-da-F%C3%ADsica>

PEDUZZI, L. **Evolução dos conceitos da Física. Força e movimento: De Thales a Galileu**. Publicação interna, depto. Física, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008. 165p. http://fisica.uems.br/praxedes/tales_galileu.pdf

ROCHA, J.F; LEON, R; RUBIM, S; SILVA, R; FREIRE, O; RIBEIRO, A. **Origens e evolução das ideias da física**. Salvador: EDUFBA, 2ed, 2015. 374p.

TOSSATO, C. Os primórdios da primeira lei dos movimentos planetários na carta de 14 de dezembro de 1604 de Kepler a Mastlin. **Scientiae.studia**, v.1, n.1, p. 195-206, 2003.

YATES, F. **Giordano Bruno y la tradición hermética**. Trad. de Domené Bergadá. Barcelona: Ariel Filosofía, 1983. 529 p.

ZANETIC, J. **Gravitação** – Notas de aula. Instituto de Física da Universidade de São Paulo, 1995.

Preguntas por PDPC sugeridas para ser usadas o adaptadas en la narrativa histórica 4

PDPC	Preguntas sugeridas	Indicadores de A.C en promoción
<i>Instrumental - Operativo</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. ¿Cuál fue(ron) el/los motivo(s) por la(s) que Kepler se motivó perfeccionar el heliocentrismo? 2. ¿Qué significó la obra “Mysterium Cosmographicum” en la vida de Kepler? 3. ¿Por qué el estudio por el planeta Marte se vuelve un asunto de estudio para Kepler? Explica. 4. Explica a qué se debió la incompatibilidad entre las predicciones y observaciones astronómicas, aun cuando Kepler usó el modelo heliocéntrico y los datos brahianos. 5. ¿Qué relación hubo entre las ideas de magnetismo de Gilbert y la elaboración de las leyes planetarias de Kepler? 6. ¿De qué manera influyeron las matemáticas en el pensamiento kepleriano? 7. ¿Qué implicó la ruptura del axioma platónico? 8. ¿Las ideas de Kepler fueron aceptadas en la comunidad intelectual y religiosa? Argumenta 9. ¿Cuál es el rol de la colectividad en la producción de un conocimiento científico? 10. ¿Por qué Kepler creía en una armonía cósmica? 	<p align="center">Enunciar, describir, relacionar, explicar, argumentar</p>
<i>Personal - Significativo</i>	<ol style="list-style-type: none"> 11. Kepler, a pesar de haber tenido dificultades socio-económicas y haber pasado por varias situaciones complejas en su vida, igual pudo realizar varias contribuciones para la “comunidad científica”. ¿Qué opinas al respecto? ¿Es algo que también se da hoy en día? 12. ¿Qué piensas sobre el envío de la obra “Mysterium Cosmographicum” por Kepler a Brahe, sin que éste lo conociera? 13. ¿Cómo explicarías la forma en que influyó Brahe en el método usado posteriormente por Kepler en algunas reflexiones e investigaciones? 	<p align="center">Explicar, argumentar</p>

	<p>14. ¿Crees tú que la tradición hermética influyó de manera significativa en los estudios de Kepler? ¿en qué evidencias te bases para respaldar esto?, ¿Crees que es suficiente?, ¿Por qué?</p> <p>15. ¿Crees que los objetivos e incentivos para producir conocimiento en la época de Kepler, fueron los mismos que hay en la actualidad? Argumenta.</p> <p>16. ¿Qué repercusión crees tú que tuvieron las leyes de Kepler en su época? ¿Crees que son usadas en la actualidad? ¿Por qué crees eso?</p> <p>17. ¿Qué sentido crees tú que tiene estudiar los aportes de Kepler?</p>	
<p>Relacional – Social o Cultural</p>	<p>18. Kepler, se dedicó –entre otros- a la religión, a la matemática, a la astrología y a la astronomía. ¿Cómo creen que él conseguía compatibilizar esto en aquel período? ¿Se podría compatibilizar en la actualidad? Argumenten brevemente.</p> <p>19. ¿Creen ustedes que Kepler fue consecuente con sus ideales? ¿con qué evidencias cuentan para esa afirmación? ¿Y cómo creen que es esto hoy en la comunidad científica?</p> <p>20. Según su punto de vista, ¿qué tan diferente podría haber sido la historia de la “ciencia” sin la presencia de Brahe o Kepler? Argumenten brevemente.</p> <p>21. ¿Sienten que el abordaje de la historia de las leyes keplerianas tienen algún sentido para la educación formal? ¿por qué?</p> <p>22. Si tuvieran que producir y transferir algún tipo conocimiento científico, ¿qué acciones llevarían a cabo para legitimarlo dentro del público objetivo? ¿por qué?</p> <p>23. ¿Cómo creen ustedes que hoy es legitimado el conocimiento producido dentro de la comunidad científica?</p>	<p>Argumentar, producir</p>

Cuadro 13: Preguntas por PDPC para narrativa histórica 4

4.1.5 Propuesta 5

Objetivos deseados en narrativa histórica 5

Narrativa histórica 5		
<i>“Galileo y el mejoramiento del telescopio. Contribuciones y controversias”</i>		
Objetivo general	<ul style="list-style-type: none"> Comprender las implicancias del uso del telescopio por Galileo en el paradigma aristotélico-ptolemaico dominante en su época. 	
Eje de Alfabetización Científica a promover	Eje 1 “Conceptos y conocimientos científicos”	<ul style="list-style-type: none"> Sistema aristotélico-ptolemaico Heliocentrismo Modelos cosmológicos Observaciones astronómicas Cuerpos celestes
	Eje 2 “Naturaleza de las Ciencias”	<ul style="list-style-type: none"> Identificar el valor de la técnica para la producción de un nuevo conocimiento. Reflexionar sobre el rol de las evidencias para apoyar o refutar una idea. Entender que la defensa del heliocentrismo, si bien implicó colectividad, no todas las personas vivieron en una misma época y ubicación geográfica. Percibir que las ideas no aceptadas en un pasado, pueden aparecer y ser usadas en un futuro. Comprender que un mismo fenómeno natural puede ser interpretado de distintas maneras. Comprender la influencia socio-cultural en la producción y transferencia de conocimiento de la obra copernicana. Entender que si un modelo explica mejor algunas cosas, no significa que esté exento de objeciones y/o limitaciones. Comprender que la colaboración entre las personas, no siempre implica el mismo compartir de valores y convicciones.

Cuadro 14: *Objetivos directrices desde la A.C, para narrativa histórica 5:*

Narrativa Histórica 5

Galileo y el mejoramiento del telescopio. Contribuciones y controversias

Galileo Galilei (1564-1642), nació en la ciudad de Pisa, Italia, en una familia que a pesar de venir de un estatus socio-cultural de nobleza, disponía de limitados recursos (CARVALHO; MEDEIROS, 2007).

Galileo, con 17 años, *entró a estudiar Medicina en la Universidad de Pisa, pero, por motivos financieros y no haber conseguido beca, tuvo que abandonar la universidad de Pisa sin título alguno* (MARTINS, 2015). No obstante, en 1589, consiguió un puesto para enseñar matemática en la misma universidad, lugar donde - según Motz y Hane (1995) - habría acentuado su interés en la naturaleza de los movimientos y de la caída de los cuerpos, *manifestándose en contra a las ideas de Aristóteles* (KOYRÉ, 1980).

En 1592 deja Pisa y comienza a trabajar en la Universidad de Padua, Venecia. Según Martins (2015), fue aquí donde, *en 1595, tras estudiar las mareas, parece haber creído que éstas eran producto del movimiento de la Tierra, por lo que se volvió un adepto al sistema de Copérnico (aunque de manera silenciosa³⁶) como se lo hizo saber a Kepler en una carta* (KOESTLER, 1981).

Por ahora, nos restringiremos a un episodio histórico en particular, el que está relacionado a evidencias obtenidas por Galileo, con el uso del telescopio.

En primer lugar, cabe mencionar que han sido diversos los relatos académicos y de divulgación que – históricamente – han atribuido erróneamente la invención del telescopio a Galileo. En palabras de Cohen (1967), ya existían evidencias de la invención del telescopio muchos años antes. Por ejemplo, Thomas Digges, en el año 1571, habría descrito un instrumento que hacía alusión a un instrumento similar al telescopio. Asimismo, existen otros relatos indicando que el instrumento habría sido

³⁶Según Zanetic (1995), algunos historiadores indican que, Galileo, en un principio, evitó difundir sus ideas por medio a la inquisición; otros señalan que tenía miedo al ridículo; mientras que otros, atribuyen la decisión al interés por la búsqueda de evidencias más poderosas en favor del sistema copernicano.

hecho en Italia en el año 1590 y que habría quedado en posesión de un holandés en el año 1604 (COHEN, 1967).

No obstante, *algunos historiadores de la ciencia, legitiman que, el telescopio, fue inventado en Holanda en el año 1608, lugar en donde habrían varias disputas de autoría* (COHEN, 1967; MARTINS, 2015). Por lo tanto, sería desde este lugar que habrían comenzado las exportaciones a otros países de Europa, llegando a Italia en el año 1609.

En el mismo año en Venecia, *Galileo, tuvo conocimiento sobre la llegada del telescopio* (rigurosamente, era un catalejo) *y la capacidad de éste, motivándose a la construcción de uno análogo* (DRAKE, 1959; KOYRÉ, 2006; MARICONDA, 2011).

Según Martins (2015), Galileo, *tras un largo proceso de ensayo y error en base a la combinación de un lente convergente* (que hace los objetos más grandes, pero poco nítidos) *y un lente divergente* (que hace los objetos más pequeños, pero más nítidos), construye su primer telescopio (ver ilustración 10) en agosto de 1609 (DRAKE, 1959).



Ilustración 10: Telescopio mejorado por Galileo

Fuente: http://catalogue.museogalileo.it/gallery/GalileosTelescope_n03.html

Quiriendo mejorar el instrumento, en agosto de 1609, consigue un telescopio con un aumento mayor, y lo envía de regalo al senado veneciano, indicando que, con tal instrumento, se podrían evitar las invasiones marítimas, pues, permitía ver las velas y barcos hasta 2 horas antes de su llegada a tierra (KOEHLER, 1981). Con esto, consigue un aumento de salario y un puesto vitalicio en la universidad de Padua.

En ese mismo periodo, algunos artesanos elaboraron muchas copias del instrumento, y los vendieron por un precio muy económico. En ese escenario, según Koestler (1981), Galileo se aventuró a mejorar el alcance y definición del telescopio.

Así, tras meses de trabajo, alcanzó su objetivo y, además, tras conseguir algunas interesantes evidencias astronómicas con el uso del telescopio, abrió una puerta para la reflexión, el debate y nuevos desafíos.

Las evidencias de las observaciones astronómicas con uso de “lentes especiales”, las publicó en su primera obra, *Sidereus Nuncius* (en español, *Noticiero Sideral*) en marzo de 1610 en Venecia y que, según Mariconda (2011), sería el inicio de un periodo polémico.

Algunos hallazgos de Galileo con el uso del telescopio, fueron los siguientes:

1. *La Luna, no es exactamente esférica y su superficie, no es perfectamente lisa.* Al contrario, está llena de irregularidades; cuencas, protuberancias, montes y valles (ver ilustración 11).

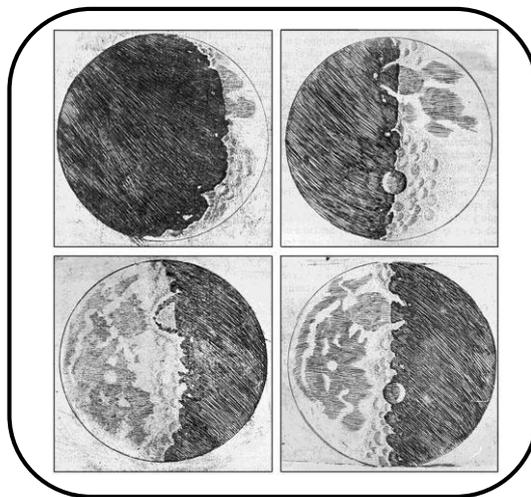


Ilustración 11: Representación de la Luna observada por Galileo en distintos momentos con el telescopio

Fuente: <http://www.mhhe.com/physsci/astronomy/fix/student/chapter4/04b01.html>

2. *Es posible visualizar que existen muchos más estrellas de las que estaban registradas.* Por ejemplo, en las “proximidades” de Orión, observó 80 estrellas nuevas (ver ilustración 12), mientras que “cerca” de las Pléyades, observó 36 estrellas jamás vistas (ver ilustración 13). Las antiguas estrellas, las dibujó más grande, mientras que, las nuevas observadas, las representó más pequeñas.

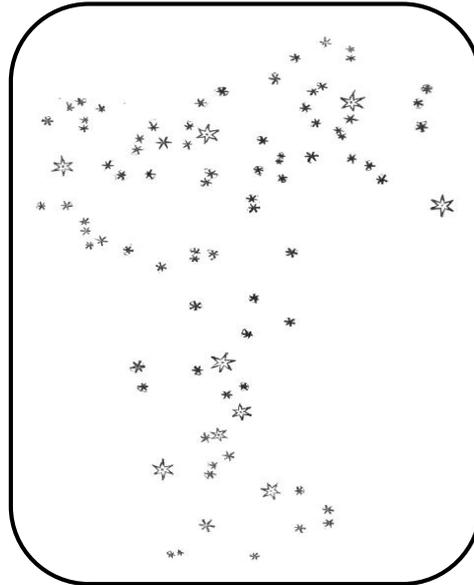


Ilustración 12: Representación del diseño elaborado por Galileo sobre la observación a la constelación de Orión

Fuente: <https://comunicacioncientifica.files.wordpress.com/2011/02/sidereus-nuncius-castellano.pdf>

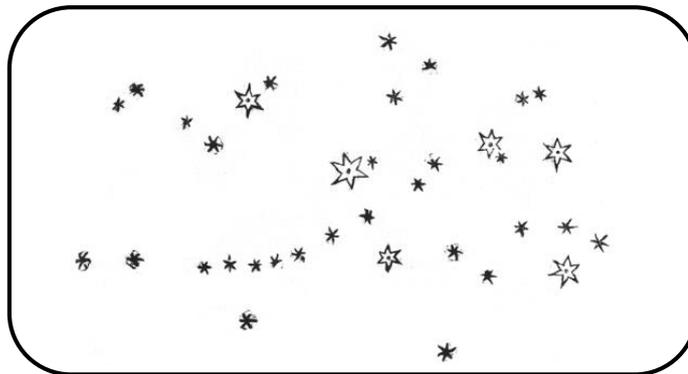


Ilustración 13: Representación del diseño elaborado por Galileo sobre la observación a las Pléyades

Fuente: <https://comunicacioncientifica.files.wordpress.com/2011/02/sidereus-nuncius->

3. Se percató de la existencia de “4 nuevas estrellas” que jamás se habían observados, por lo que después de 2 semanas de observación, concluye que éstas eran lunas del planeta Júpiter (ver ilustración 14).

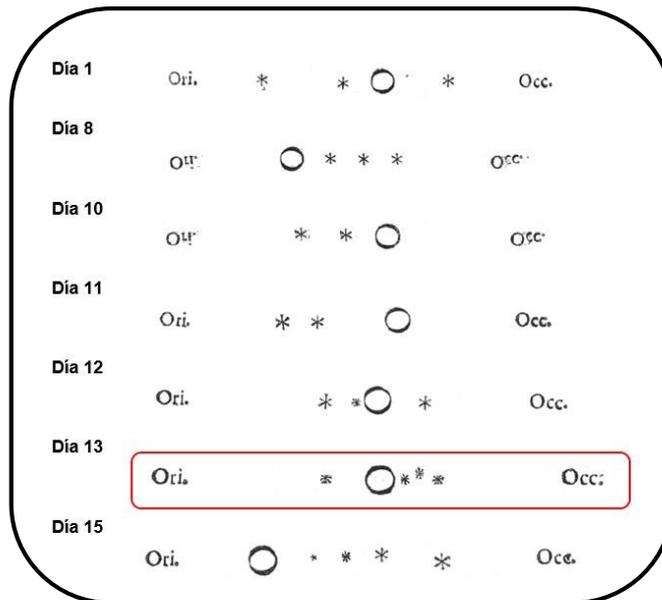


Ilustración 14: Representación de “los planetas” (lunas de Júpiter) observado por Galileo)

Fuente: <https://comunicacioncientifica.files.wordpress.com/2011/02/sidereus-nuncijs-castellano.pdf>

A modo de observación, *quisiéramos destacar que antes de Galileo, también hubo personas que apuntaron al cielo con instrumentos que permitieron aumentar el tamaño de los astros, como es el caso de Simón Marius en Alemania (COHEN, 1967) y Thomas Harriot en Inglaterra, quien también notó imperfecciones en la Luna en 1609. Lo que marcó la diferencia, fue el hecho que, Galileo, habría sido el primero en publicar lo que vio (PEDUZZI, 2008).*

Sin embargo, frente a divulgación de Sidereus Nuncius, *serían varios los nobles, religiosos e intelectuales que se negarían a aceptar lo publicado por Galileo, pues, las evidencias de las observaciones astronómicas, no sólo eran cuestionadas por haber sido obtenidas con un instrumento de compleja manipulación que carecía de bases teóricas físicas (PEDUZZI, 2008) y que generaba extrañas imágenes (como el caso de Saturno), sino también, porque mostraban que no todo gira alrededor de la Tierra (MARTINS, 2015), entrando así en conflicto con la defensa de inmutabilidad de los cielos defendida por Aristóteles y, por lo tanto, con el paradigma legitimado por la Iglesia.*

[...] El lector sentía instintivamente las vastas consecuencias filosóficas de esta ampliación del universo, aun cuando esas consecuencias no estuvieran explícitamente dichas. Lo montes y valles de la Luna confirmaban la semejanza que había entre la materia celeste y la materia terrestre, la

naturaleza homogénea del material con que estaba hecho el mundo. El número insospechado de estrellas invisibles reducía al absurdo la idea de que habían sido creadas para placer del hombre, ya que éste sólo podía verlas armado con un aparato. Las lunas de Júpiter no demostraban que Copérnico tuviese razón, pero conmovían más aún la antigua creencia de que la Tierra fuera el centro del mundo y de que alrededor de ella giraran todas las cosas [...] (KOESTLER, 1981, p. 380).

Sobre este escenario, Galileo, envió ejemplares de su manuscrito a personas con autoridad social e intelectual, pues, procuraba una legitimación. De hecho, hasta envió una carta –aunque no directamente – a Johannes Kepler, de quien recibió una carta de respaldo, a pesar de que habían perdido el contacto años.

No obstante, meses después, *Kepler, por una cuestión legal sobre engaños y mentiras, y presionado entre sus pares por haber legitimado algo que no había visto, escribe a Galileo para comentar sobre las duras críticas que le estaban llegando desde Alemania e Italia sobre la defensa a sus observaciones astronómicas, por lo que manifiesta expresamente la imperante necesidad de conocer su telescopio, y así fundamentar su legitimación a partir de su propia observación.*

Ante lo anterior, *Galileo, quien no respondía una carta a Kepler desde aproximadamente 13 años, le escribió una carta a la brevedad en agosto de 1610, señalando agradecimientos por la defensa a su obra y noble espíritu.* Sin embargo, como señala Koestler (1981), se niega a enviar el telescopio que “ampliaba las cosas en 1000 veces”, pues, según él, se encontraba en manos del gran duque.

Pese a esto, Kepler, consiguió prestado un telescopio por medio de su protector, el Duque de Baviera, quien lo habría recibido de obsequio por parte de Galileo, y que habría decidido llevarlo a Praga para que lo utilizara el matemático imperial. De esta manera, Kepler, al apuntar el cielo con el instrumento, consigue confirmar personalmente los descubrimientos señalados por Galileo en torno a las lunas de Júpiter (las que llamó de satélites) (KOESTLER, 1981).

Así, el colegio jesuita, a través de sus más reconocidos matemáticos y astrónomos que inicialmente se negaron a las evidencias presentadas en la obra galileana – ahora - contribuirían a mejorar las observaciones de éste.

Al respecto, Koestler (1981), señala que, *la confirmación de las fases de Venus por el Decano de los astrónomos jesuitas, y la verificación de la Luna y los*

satélites de Júpiter por parte de 4 jesuitas del colegio romano (MARTINS, 2015), se constituyeron como pruebas que no eran respondidas por el sistema aristotélico-ptolemaico, lo que sugiere la adopción de un modelo alternativo.

Según Martins (2015), *la orden jesuita³⁷, defenderá que un modelo alternativo que se ajustaba con las observaciones astronómicas, era el modelo híbrido defendido por Tycho Brahe. No obstante, habría libertad para discutir y reflexionar en torno al modelo de Copérnico, siempre que éste fuera considerado de una manera hipotética y no como una verdad (KOESTLER, 1981).*

Según Martins (2015), *otra prueba a favor de la imperfección del cielo, fueron las manchas solares, las que serían registradas por diferentes personas (PEDUZZI, 2008), como por ejemplo, Thomas Harriot en diciembre de 1610, Johannes Fabrícus en marzo de 1611 (que sólo publica en junio de 1611) y Cristophorus Scheiner en marzo de 1611.*

En esta época, *Galileo, tras conocer lo publicado por el astrónomo jesuita, el padre Scheiner, niega su autoría del “descubrimiento” de las manchas solares, indicando que él ya las había observado a finales de 1610, por lo que, de alguna manera, haría que Scheiner se tornara su primer enemigo entre los círculos intelectuales jesuitas (KOESTLER, 1981). Galileo sólo publicó un manuscrito sobre las manchas solares en 1612.*

Bibliografía usada para la narrativa histórica 5

CARVALHO, J.C; MEDEIROS, A.S. **Astronomia: Interdisciplinar**. RN: EDUFRN, 2007. 300p.

COHEN, B. **O nascimento de uma nova física**. São Paulo: Edart, 1967. 203p.

DRAKE.S. **Galileo Gleanings VI: Galileo’s First Telescopes at Padua and Venice**. Isis, v.50, n.3, p. 245-254, 1959.

KOESTLER, A. **Los sonámbulos**. Trad. de Alberto Luis Bixio. D.F. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 1981. 581p.

KOYRÉ, A. **Do mundo fechado ao universo infinito**. Trad. de Donaldson M. Garschagen, 4. ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2006. 156p.

³⁷ La orden jesuita, era el colectivo intelectual de la Iglesia Católica representados por los astrónomos de diversos lugares de Europa.

KOYRÉ, A. **Estudios Galileanos**. Trad. de Mariano González. Madrid: Siglo veintiuno editores, 1980. 338p.

MARICONDA, P.R. **Galileu Galilei. Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano**. 3 ed. São Paulo: Associação Filosófica Scientiae Studia / Editora 34, 2011, 888p.

MARTINS, R. **A revolução copernicana** – Curso de História da Física. Grupo de História, Teoria e Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo, 2015. <https://uepb.academia.edu/RobertoMartins/Curso-de-Hist%C3%B3ria-da-F%C3%ADsica>

MOTZ, L; HANE, J. **The story of astronomy**. Cambridge: Parseus Publishing, 1995. 398p.

PEDUZZI, L. **Evolução dos conceitos da Física. Força e movimento: De Thales a Galileu**. Publicação interna, depto. Física, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008. 165p. http://fisica.uems.br/praxedes/tales_galileu.pdf

ZANETIC, J. **Gravitação** – Notas de aula. Instituto de Física da Universidade de São Paulo, 1995.

Preguntas por PDPC sugeridas para ser usadas o adaptadas en la narrativa histórica 5

PDPC	Preguntas sugeridas	Indicadores de A.C en promoción
Instrumental - Operativo	<ol style="list-style-type: none"> 1. ¿Por qué Galileo habría evitado una defensa pública por heliocentrismo copernicano? Argumenta. 2. Explica el/los motivo(s) por la que Galileo se motiva a perfeccionar el telescopio. 3. ¿Qué habrá motivado a Kepler a respaldar la obra <i>Sidereus Nuncius</i> de Galileo sin antes haber verificado por su propia cuenta? 4. ¿Las evidencias en <i>Sidereus Nuncius</i>, fueron pruebas a favor del copernicanismo? ¿por qué? 5. ¿Por qué los hallazgos con el telescopio no eran compatible con la defensa de la Iglesia? 6. ¿Los cuerpos celestes observados en la época de Galileo, fueron interpretados de más de una manera? Explica. Y en la actualidad, ¿un fenómeno natural puede tener diferentes explicaciones? Argumenta. 7. ¿Por qué se permitió que la obra copernicana fuera usada siempre que ésta fuera defendida como una hipótesis? 8. ¿El modelo híbrido defendido por Tycho Brahe conseguía explicar los fenómenos evidenciados con el telescopio? Argumenta. 9. ¿Cuál fue el rol y valor de la técnica en la época de Galileo? 10. ¿Cómo reaccionaron los diferentes círculos sociales tras la publicación de <i>Sidereus Nuncius</i>? 	Explicar, inferir, argumentar
	<ol style="list-style-type: none"> 11. ¿Crees tú que lo evidenciado por Galileo con el telescopio tienen algún impacto en tu vida actual? ¿por qué? 12. ¿Qué imaginaste al leer que la orden jesuita había adoptado el modelo híbrido defendido por Brahe? ¿Crees tú que esa situación puede ser comprendida con los valores de aquella época? Argumenta. 	

<p>Personal - Significativo</p>	<p>13. Según tú parecer, ¿el mérito de las evidencias astronómicas con el telescopio, se deben exclusivamente a Galileo? ¿Por qué?</p> <p>14. Siendo que Galileo sólo publicará un manuscrito sobre las manchas solares en 1612, ¿qué opinas tú sobre la negación de autoría sobre la observación de éstas que hizo Galileo contra el padre Scheiner, quien publicó éstas evidencias en 1611?</p> <p>15. ¿De qué manera crees tú que se podrían relacionar las observaciones astronómicas de Galileo con la ruptura de la creencia de un mundo sub-lunar y otro supra-lunar?</p> <p>16. ¿Cómo interpretas tú el hecho de que las colaboraciones intelectuales, no siempre implican los mismos objetivos o intenciones entre las personas? ¿Cómo lo relacionarías con la narrativa histórica leída?</p>	<p>Explicar, argumentar</p>
<p>Relacional – Social o Cultural</p>	<p>17. Si tuvieran que montar una obra de teatro sobre Galileo y las observaciones con el telescopio, ¿qué harían y que aspectos destacarían de tal manera que el público pudiera comprender el contexto, los valores y las creencias de la época?</p> <p>18. ¿Piensan que el conocimiento y uso de la técnica cumple un rol importante para producir conocimiento? Realicen una comparación entre la época de Galileo y la actualidad.</p> <p>19. ¿Cuáles fueron las influencias socio-culturales que aparecen en la narrativa y que más llamaron su atención? ¿cómo relacionarían eso con lo que pasa en su escuela o barrio?</p> <p>20. ¿Creen ustedes que saber algunos aspectos sobre Galileo y su época les contribuye en su formación como persona? Argumenten brevemente.</p> <p>21. ¿Piensan ustedes que en América Latina se hayan construido instrumentos parecidos a los de Europa en la misma época o antes? ¿cuáles son sus evidencias para eso?</p>	<p>Elaborar, comparar, relacionar, argumentar</p>

Cuadro 15: Preguntas por PDPC para narrativa histórica 5

4.1.6 Propuesta 6

Objetivos para narrativa histórica 6

Narrativa histórica 6		
<i>Desmitificando el episodio de la manzana de Newton: ¿qué historia me han y he contado?</i>		
Objetivo general		<ul style="list-style-type: none"> Comprender que Newton no descubrió la “gravedad” al ver caer una manzana al suelo.
Eje de Alfabetización Científica a promover	Eje 1 “Conceptos y conocimientos científicos”	<ul style="list-style-type: none"> Caída de los cuerpos Noción de Inercia Naturaleza sub-lunar y supra-lunar Gravedad Gravitación Mecánica celeste y terrestre
	Eje 2 “Naturaleza de las Ciencias”	<ul style="list-style-type: none"> Comprender que un mismo fenómeno natural puede ser interpretado de distintas maneras. Comprender la influencia socio-cultural en la producción y transferencia de conocimiento. Valorar el rol de conocimientos previos para la comprensión de nuevos fenómenos o producción de conocimiento. Valorar el papel de la elaboración y test de hipótesis. Desmitificar la idea de la construcción de conocimiento científico, como un simple descubrimiento en un momento puntual.

Cuadro 16: *Objetivos directrices desde la A.C, para narrativa histórica 6*

Narrativa histórica 6

“Desmitificando el episodio de la manzana de Newton: ¿qué historia me han contado?”

El año 1642, de alguna manera, quedó marcado en la memoria de varias personas de la comunidad “científica” de la época, pues, es el año donde falleció Galileo Galilei en Italia, y nació Isaac Newton en Inglaterra (WESTFALL, 2006).

Según Cohen y Westfall (2002), Newton, a los tres años de edad, además de no haber tenido la oportunidad de conocer a su padre biológico (su padre falleció tres meses antes de que él naciera), se le sumó otra carencia afectiva: su madre lo dejó al cuidado de sus abuelos, puesto que, ella se casó con el clérigo Smith, quien no quiso responsabilizarse por Newton.

Sólo sería hasta la edad de 10 años, tras la muerte de Smith, que Newton volvió a tener contacto frecuente con su madre, y dentro de los siguientes dos años, ingresa a la escuela rural de Grantham, donde – entre otros - estudió bastante latín.

A los 16 años, su madre lo hace volver a Woolsthorpe con la idea de que aprendiera a dirigir la hacienda. Sin embargo, su tío William Ayscough (miembro del Trinity College de Cambridge) y el maestro de la escuela Grantham, quienes habían percibido el potencial de Newton, convencen a su madre, y el joven Isaac regresa a la escuela.

En 1660, Newton, se prepara para ingresar a la Universidad de Cambridge³⁸, lo que consigue en junio de 1661 al ser aceptado en el Trinity College en calidad de "subsizar"³⁹.

Según Cohen y Westfall (2002), en algún momento de 1664, Newton, habiendo leído obras de diversos pensadores, comenzó a reflexionar profundamente sobre las ideas de la naturaleza de la materia y la explicación de sus propiedades, realizando algunas anotaciones que tituló de *Quaestiones quaedam philosophicae* (en español, “*algunas cuestiones filosóficas*”).

³⁸ Creemos pertinente recordar que, en ésta época, la base curricular en la universidades de Europa, era el aristotelismo (COHEN; WESTFALL, 2002).

³⁹ Ingresar a la Universidad de Cambridge en calidad de “subsizar”, significó estar como estudiante de escasos recursos económicos que pagaba su estancia con trabajos auxiliares para estudiantes con mayor estatus socio-económico (WESTFALL, 2006; MARTINS, 2015).

Según Martins (1998), *en éste cuaderno de anotaciones, están los registros más antiguos de los pensamientos de Newton sobre la gravedad*⁴⁰, *cuyas anotaciones poco elaboradas, ha demandado un mayor esfuerzo para que los historiadores hayan llegado a una mejor comprensión.*

Parece ser que, una de sus primeras conjeturas sobre la gravedad, fue que ésta podría ser producida por una corriente de éter con gran velocidad que vendría del espacio exterior en dirección a la Tierra, consiguiendo impulsar los cuerpos hacia abajo (MARTINS, 1998).

Con esto, Newton, parece pensar que, la corriente de éter que baja se haría más “gruesa” en la medida que se acercara a la Tierra.

Si la velocidad del éter es constante, y la densidad de éste aumenta en la medida que llega a la Tierra (por estar confinado en un espacio menor), la presión por parte de esa corriente debería aumentar. Así, el peso de un cuerpo próximo a la superficie terrestre debería ser mayor en comparación a la del mismo cuerpo que estuviera lejos de la superficie (MARTINS, p.81, 1998, traducción nuestra).

En este marco de reflexiones, *Newton, se planteó aun otras preguntas, y elaboró otras hipótesis en relación a la gravedad de un cuerpo: ¿dependerá de la velocidad?, ¿será influenciado por la condensación?, ¿dependerá de la proximidad a otros cuerpos o por el magnetismo?, ¿será alterado por el calor o el frío?, ¿cambiará si el cuerpo es pulverizado?, ¿dependerá de si es transportado a diferentes alturas?, ¿será influyente si el cuerpo está estirado o de pie? (MARTINS, 1998).*

Según Martins (1998), *no se sabe si Newton realizó un test para cada una de sus hipótesis, pero que al parecer se habría convencido de que ninguno de esos efectos existía.*

Por lo tanto, como menciona Martins (2006), *en esa época, Newton sí intentó entender la gravedad, pero estaba lejos de imaginar la existencia de fuerzas a distancia que pudieran actuar directamente en el vacío.*

⁴⁰ No confundir gravedad con gravitación. La palabra “gravedad” era usada para indicar la propiedad que tenían los cuerpos pesados (graves) para ir hacia el centro de la Tierra (o del universo, en la cosmología aristotélica). “Gravitación”, por otro lado, es el término que sería utilizado por Newton para indicar una fuerza atractiva existente entre dos cuerpos cualesquiera del universo. El periodo al que nos estamos refiriendo, aún no se percibe esa segunda idea de Newton (MARTINS, p.120, 1998, traducción nuestra). De hecho, nos parece interesante mencionar que, Galileo, mucho antes del nacimiento de Newton, se refería a la gravedad y los “graves” (cuerpos pesados), y sabía perfectamente que era un nombre y no una explicación (MARTINS, 1990). Incluso Aristóteles, en la Antigua Grecia, también hablaba de los “graves”.

Newton⁴¹, en 1665, habiendo conseguido el título de bachiller, regresó a su ciudad natal, tras el cierre provisorio de la universidad en otoño del mismo año, pues, una terrible peste había atacado a Londres, teniendo como consecuencia un gran número de muertos (ZANETIC, 1995).

Estaría en casa por 18 meses, tiempo que, según varios historiadores de la ciencia, parece ser el periodo en que Newton habría iniciado los trabajos “científicos⁴²” más importantes de su vida, llegándose a conocer como los *Anni Mirabili* (en español, *Los años maravillosos*).

Una de las cosas de éste periodo que ha sido publicada de manera errónea en diversos medios académicos y de divulgación⁴³, es el “episodio de la manzana”, donde - supuestamente - Newton, tras haber visto caer una manzana al suelo, habría tenido un “insights”, descubriendo la gravedad (FORATO, 2006; TEIXEIRA; PEDUZZI; FREIRE, 2010).

Según Martins (2006), *Newton, al morir, dejó una gran cantidad de manuscritos, pero jamás fue encontrada una descripción de él respecto a la caída de la manzana. No obstante, sí hay – al menos – 4 evidencias oficiales de personas que habrían registrado el discurso de Newton cuando éste ya era anciano (WESTFALL, 2006).*

El primer testimonio publicado, es el de Voltaire⁴⁴ en 1727:

Isaac Newton caminando en su jardín tuvo el primer pensamiento de su sistema de la gravitación, al ver una manzana caer de un árbol (VOLTARE cit. KEESING, p. 379, 1998, traducción nuestra).

El segundo testimonio, fue el de Greene⁴⁵, también en 1727:

Esto fue escrito por mí cuando reflexioné que la teoría de Newton de la gravedad es el principio de todo [...] esta famosa teoría tiene su origen, como

⁴¹ Es importante comprender Newton no como un científico en el sentido actual, sino que como un pensador inglés del siglo XVII, un filósofo natural envuelto con saberes característicos de su tiempo. Además de física, matemática, filosofía y astronomía, el estudio también alquimia, astrología, cábala, magia y teología, y era un gran conocedor de la Biblia [...] (FORATO, p.192, 2006, traducción nuestra).

⁴² Según Cohen y Westfall (2002), la palabra “científicos”, no existía a la época de Newton. Por eso, Isaac Newton, es considerado un filósofo natural.

⁴³ Según Teixeira, Peduzzi y Freire (2010), el episodio de la manzana ha sido divulgado con la idea de insights en diversos libros de física, como por ejemplo, Máximo y Alvarenga en 1997, Lucie en 1974, Resnick et al. en 1996, y Hewitt en 2002.

⁴⁴ Voltaire consiguió hablar con Newton antes que éste último falleciera, pero también habló con la sobrina de éste, Catherine.

⁴⁵ Robert Greene, era filósofo natural de Cambridge.

todo nuestro conocimiento, se dice, de la manzana [...] (GREENE cit. en KEESING, p. 379, 1998, traducción nuestra).

El tercer testimonio, es de Conduitt⁴⁶:

En el año de 1666, volvió a marcharse de Cambridge [...] a casa de su madre, en Lincolnshire, y mientras meditaba en un jardín, le vino al pensamiento la idea (suscitada por la caída al suelo de una manzana) de que el poder de la gravedad no se limitaba a una cierta distancia de la Tierra, sino que este poder debía extenderse mucho más allá de lo que normalmente se creía. ¿Por qué no hasta la Luna? se dijo a sí mismo. Y si esto era así, ese hecho debería influir en su movimiento y, quizá, retenerla en su órbita; lo que le llevó a calcular cuál sería el efecto de esa suposición. Pero, al no contar con libros, y tomando la estimación en curso entre geógrafos y navegantes —antes de que Norwood midiera la Tierra— de que un grado de latitud, sobre la superficie de la Tierra, equivalía a 60 millas, su cálculo no coincidía con su teoría, y se inclinó a creer que, junto a la fuerza de la gravedad, podía existir una mezcla de esa fuerza, que la Luna tendría si fuera arrastrada por un vórtice [...] (CONDUITT cit. WESTFALL, p. 73, 2006).

El cuarto testimonio, corresponde al de Stukeley⁴⁷, haciendo referencia a una visita que hizo a Newton el 15 de abril de 1726⁴⁸:

Después del almuerzo, el clima estaba cálido, fuimos al jardín y bebimos té bajo la sombra de algunos árboles de manzana, sólo él y yo. En medio de otros discursos, me dijo que estaba en la misma situación como cuando, mucho tiempo atrás, le vino formalmente la noción de gravedad a su mente. Esto fue ocasionado por la caída de una manzana, cuando estaba sentado en un estado contemplativo (STUKELEY cit. KEESING, p. 380, 1998, traducción nuestra).

Estas evidencias, si bien aseguran la ocurrencia del episodio de la manzana (KEESING, 1998), ninguna afirma que la manzana le haya caído en la cabeza a Newton o que éste haya estado durmiendo (MARTINS, 2006).

El conjunto de testimonios, al no ser idénticos (KEESING, 1998), *han generado una distorsión sobre la naturaleza de la producción de un conocimiento, ya que, como indican Cohen (1983) y Westfall (2006), ha contribuido a la idea generalizada de que Newton llegó a la gravitación universal (G.U) por una suerte de iluminación en 1666.*

⁴⁶ John Conduitt, trabajó con Newton, y además, se casó con la sobrina de éste.

⁴⁷ William Stukeley, fue miembro de la Royal Society y amigo de Newton.

⁴⁸ Esto lo escribe en su obra Memorias de la vida de Isaac Newton, la que termina en 1752 y que sólo son publicadas en el siglo XX.

Según Cohen (1983), *Newton no podría haber desarrollado la teoría de G.U entre 1665-1666*, ya que, por una parte, *carecía de condición intelectual suficiente y necesaria* y, por otra, *a pesar de haber mostrado indicios de “ruptura” de las ideas cartesianas de Descartes⁴⁹ en Cambridge, aún estaba influenciado – entre otros- por la idea de tendencia centrífuga como mecanismo de mantención de la órbita planetaria* (TEIXEIRA; PEDUZZI, FREIRE, 2010).

Pero, entonces, ¿por qué se ha difundido/aprendido una idea sobre desarrollo de G.U en “los años maravillosos de Newton”, y en particular en el episodio de la manzana, siendo que Newton tenía limitaciones para haber desarrollado esto?

Según Teixeira, Peduzzi y Freire (2010), la divulgación de ésta idea, parece apoyarse en una nota biográfica escrita por Newton en sus últimos años de vida, en la cual afirma haber concebido entre 1665-1666 que la gravedad terrestre se extendía hasta la Luna⁵⁰.

Desde un punto de vista sobre el porqué se ha aprendido la idea, el Historiador de la Ciencia Roberto de Andrade Martins, comparte su impresión:

Para nosotros que fuimos educados dentro de la concepción de que la Tierra atrae las piedras y otros cuerpos pesados, la idea no sólo nos parece correcta, sino que también obvia. Y somos llevados a pensar que alguien descubrió eso, ¿quién sería? Debe haber sido Newton... Y entonces, es natural que seamos llevados a pensar que él percibió eso de alguna manera. Como no sabemos exactamente cómo eso podría ser comprobado científicamente (una falla de nuestra enseñanza, que es esencialmente dogmática), fantaseamos que Newton “percibió” eso viendo la manzana caer! [...] ¿Pero cómo Newton podría percibir eso? No existe nada visible que tire los cuerpos para la Tierra (MARTINS, p. 172, 2006, traducción nuestra).

De esta manera, *con la poca concordancia entre las versiones del episodio, los historiadores, han tenido que elaborar una “reconstrucción” de acontecimientos entre lo que fue contado y los manuscritos originales de Newton*, considerando que

⁴⁹ De acuerdo con la concepción mecanicista de Descartes, aceptada de manera ortodoxa en aquella época, un planeta era mantenido en órbita estable en torno al Sol, por ser constantemente desviado de su tendencia de salir en línea recta tangente a la órbita, o sea, de su tendencia centrífuga. Ese constante desvío era debido a la materia del espacio, inmediatamente superior a la órbita del planeta, que giraba en vórtices y que, por ser dotado de mayor tendencia centrífuga que el planeta, lo retenía en su trayectoria orbital. (TEIXEIRA; PEDUZZI; FREIRE, p. 218-19, 2010, traducción nuestra).

⁵⁰ Si eso fue realmente lo que aconteció, no significa que haya comprendido la naturaleza de la gravedad, ya que predominaba en él la concepción de una “gravedad solar” constante sobre el planeta, que era necesaria para equilibrar la tendencia centrífuga del planeta en órbita (COHEN, 1983; TEIXEIRA, PEDUZZI, FREIRE, 2010).

estos últimos, aun cuando no hablan sobre el episodio, ayudarían a aclarar lo que el filósofo natural pudo haber pensado (MARTINS, 2006).

Así, en el caso de tener algo de verdadero el episodio de la manzana, *la caída de la fruta, no causó la idea de que la Tierra atrajera directamente a los cuerpos pesados, sino que favoreció una serie de asociaciones en la mente de Newton* (MARTINS, 2006), las que parecen no haber sido obvias para pensadores anteriores.

Pero, entonces, ¿qué posibles asociaciones habría realizado Newton?

Primero, hay que tener presente que, Newton, *a la fecha del episodio, ya había leído – entre otros – varias obras de matemática, astronomía y filosofía de diferentes pensadores*, como por ejemplo, la obra galileana “*Diálogo sobre los mayores sistemas de mundo ptolomaico y copernicano*”, donde aparece una buena explicación sobre la igualdad de naturaleza entre la Tierra y la Luna, y la obra “*Principio de la filosofía*” de Descartes, que –entre otros- le habría entregado algunos subsidios para comprender la noción de inercia o alguna idea semejante (MARTINS, 2006; WESTFALL, 2006; PESSOA, 2014).

Ahora, con base en la idea de inercia de Descartes y en la figura 15 que este mismo pensador publicó en su libro “*Principio de filosofía*”; si, durante el movimiento circular, en algún momento, la mano deja de afirmar el paño con la piedra, la piedra tendería a moverse en línea recta (por la tangente), alejándose de la mano (MARTINS, 2006; PESSOA, 2014).

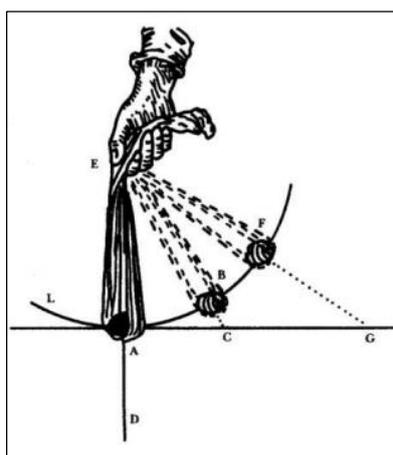


Ilustración 15: Representación de Descartes para explicar la tendencia de los cuerpos en movimiento circular

Fuente: <http://www.scielo.br/img/revistas/rbef/v37n1//0102-4744-rbef-37-01-1602-gf01.jpg>

Parece ser esa la idea que Newton habría aplicado para la Luna, pues, *aceptando que ésta no es un cuerpo con naturaleza diferente a las cosas en la Tierra, entonces, podríamos pensar a la Luna como si fuera la piedra en un paño.*

Si nada actuara sobre la Luna, ésta se movería en línea recta. Hay alguna cosa que la desvía de su trayectoria rectilínea y la mantiene fija a la Tierra. Esa cosa, puede ser la misma gravedad que hace que las manzanas caigan (MARTINS, p.180, 2006, traducción nuestra).

No obstante, *parece que no fue sólo esa idea cualitativa la que pasó por la cabeza de Newton, ya que, también, buscó verificar cuantitativamente si el movimiento de la Luna podría ser explicado por la gravedad terrestre* (MARTINS, 1990).

Para esto, decidió comparar –indirectamente - la caída de los cuerpos más cercanos al suelo, con el movimiento de la Luna, para lo cual, *realizó una “experiencia de pensamiento”, imaginando la Luna como si estuviese en caída en dirección a la Tierra*⁵¹ (FREIRE, MATOS, VALLE, 2004).

Cabe destacar que, tras arduo trabajo, *Newton, sólo presentó ésta relación muchos años después de 1665-1666, en la proposición 4 del libro III de los Principios Matemáticos de la Filosofía Natural, lo cual se constituyó como una de las piezas esenciales en el argumento newtoniano para la construcción de la idea de G.U* (FREIRE; MATOS; VALLE, 2004).

Finalmente, creemos importante señalar también que, *el proceso para construir nuevos conocimientos por parte de Newton, fue –a diferencia como es presentado en libros didácticos y divulgación – muy complejo* (FORATO, 2006). *Su itinerario metodológico, no estuvo ajeno a cambios conceptuales y metodológicos, ni a especulaciones, confusiones, errores y frustraciones, como lo han señalado William Whiston y Henry Pemberton*⁵², quienes conocieron a Newton y relataron aspectos de los cálculos frustrados del filósofo natural (COHEN, 1983), que hasta lo llevaron un tiempo a “alejarse” de la mecánica (TEIXEIRA, PEDUZZI, FREIRE, 2010).

⁵¹ Para conocer una aproximación del procedimiento matemático de Newton, sugerimos revisar el capítulo de libro de Martins (2006), y Freire, Matos y Valle (2004).

⁵² Según Cohen (1983), Whiston, fue sucesor de Newton en Cambridge; Pemberton, fue un físico y matemático que escribió una obra sobre Newton.

Bibliografía utilizada para narrativa histórica 6

- COHEN, B; WESTFALL, R. **Newton. Textos; Antecedentes; Comentários**. Trad. de Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2002. 522p.
- COHEN, B. **La revolución newtoniana y la transformación de las ideas científicas**. Trad. de Carlos Solís Santos. Madrid: Alianza Editorial, 1983. 425p.
- FORATO, T. Isaac Newton, as profecias bíblicas e a existência de Deus. In: Cibelle Celestino Silva. (Org.). **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Livraria da Física, 2006, p. 191-2006.
- FREIRE; O; MATOS, M; VALLE, A. Uma exposição didática de como Newton apresentou a força gravitacional. **Física na escola**, v.5, n.1, p. 25-31, 2004.
- KEESING, R.G. The history of Newton's apple tree. **Contemporary Physics**, v.39, n.5, p. 377-391, 1998.
- MARTINS, R. Alguns aspectos da teoria da gravitação. **Perspicillum**. v.4, n.1, p.9-15, 1990.
- MARTINS, R. A maçã de Newton: história, lendas e tolices. In: Cibelle Celestino Silva. (Org.). **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Livraria da Física, 2006, p. 167-189.
- MARTINS, R. **A revolução copernicana** – Curso de História da Física. Grupo de História, Teoria e Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo, 2015. <https://uepb.academia.edu/RobertoMartins/Curso-de-Hist%C3%B3ria-da-F%C3%ADsica>
- MARTINS, R. Descartes e A Impossibilidade de Ações À Distância. In: Saul Fuks. (Org.). **Descartes 400 anos: um legado científico e filosófico**. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1998, v. 1, p. 79-126.
- PESSOA, O. Newton e o paradigma das forças a distância. In: Osvaldo Pessoa, **Teoria do Conhecimento e Filosofia da Ciência I**, 2014, p. 85-91. <http://www.fflch.usp.br/df/opessoa/TCFC1-14-Cap17-18.pdf>
- TEIXEIRA, E; PEDUZZI, L; FREIRE, O. Os caminhos de Newton para a gravitação universal: uma revisão do debate historiográfico entre Cohen e Westfall. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n. 2, p. 215-254, 2010.
- WESTALL, R. **Isaac Newton: uma vida**. Trad. de Menchu Gutiérrez. Madrid: Akal, 2006. 320p.
- ZANETIC, J. **Gravitação** – Notas de aula. Instituto de Física da Universidade de São Paulo, 1995.

Preguntas por PDPC sugeridas para ser usadas o adaptadas en la narrativa histórica 6

PDPC	Preguntas sugeridas	Indicadores de A.C en promoción
<i>Instrumental - Operativo</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. En general, ¿qué conocimiento sobre mecánica se había construido antes de Newton? 2. ¿Cuál fue el rol de las hipótesis en Newton para comprender mejor la gravedad? 3. ¿Qué ideas parecen haber influenciado el pensamiento de Newton para la elaboración de hipótesis y/o relaciones sobre la gravedad antes de 1665-1666? 4. ¿Cuáles son las evidencias para refutar que Newton no descubrió la gravedad entre 1665-1666? 5. ¿Es posible conocer el conjunto de influencias en el pensamiento de Newton hasta la publicación de los Principia? Argumenta brevemente. 6. ¿Toda hipótesis es comprobable?, ¿Por qué? Apóyate de ejemplos. 7. ¿De qué manera, Newton, pudo haber relacionado la idea de gravedad con el copernicanismo? 	Explicar, inferir, argumentar
<i>Personal - Significativo</i>	<ol style="list-style-type: none"> 8. Según los antecedentes de historiadores de la ciencia, Newton, entre 1665-1666, no pudo haber desarrollado su teoría sobre G.U. ¿por qué crees tú que se ha trascendido lo contrario en diferentes esferas sociales? 9. ¿Qué otras pruebas y estrategias usarías tú para desmitificar la idea de que Newton descubrió la gravedad tras la caída de una manzana? 10. ¿Estás de acuerdo con las posibles relaciones que habría realizado Newton para probar su hipótesis sobre la gravedad y la Luna?, ¿por qué?, ¿piensas que es una evidencia suficiente? Argumenta brevemente. 11. ¿Crees tú que un nuevo conocimiento se puede producir sin la necesidad de conocer los aportes análogos de otras personas?, ¿por qué? 	Explicar, producir, argumentar

	<p>12. ¿Qué sentido crees tú que tiene desmitificar el episodio de la manzana de Newton? , ¿tiene esto algún valor para ti?, ¿por qué?</p>	
<p>Relacional – Social o Cultural</p>	<p>13. Si les pidieran disertar en un curso análogo del mismo colegio sobre el rol de la elaboración y puesta a prueba de hipótesis para la comprensión de la gravedad por Newton, ¿qué explicitarían, por qué y cómo?</p> <p>14. ¿Qué aspectos de la narrativa histórica les fueron difícil de entender?, ¿por qué?, ¿a qué creen que se debió esto?</p> <p>15. ¿Creen ustedes que aprender una “pseudo-historia de la ciencia” podría afectar su formación en ciencias? Argumenten brevemente.</p> <p>16. Imaginando que llega un conocido científico a dar una conferencia a su escuela, y menciona que Newton descubrió la gravedad tras la caída de una manzana, ¿qué creen que pensarían ustedes y por qué?</p> <p>17. Considerando lo anterior, e imaginando que quieren ayudar al científico, ¿qué y cómo argumentarían que él tiene una idea equivocada del episodio de la manzana?</p>	<p>Elaborar, comparar, relacionar, argumentar</p>

Cuadro 17: Preguntas por PDPC para narrativa histórica 6

5. Reflexiones finales

Ofrecer condiciones para fortalecer la Alfabetización Científica en estudiantes y profesores(as) de ciencias y/o física desde una perspectiva crítica, pero que no se limite a aspectos netamente cognitivos y procedimentales, al menos en la educación formal, parece ser un desafío imperante en tiempos de incertidumbres y crisis.

Desde nuestro acotado ámbito de acción y sensible a una problemática asociada a un abordaje ingenuo e instrumental de y sobre la ciencia por parte de profesores(as) de física en Chile, quisimos colaborar –aunque siempre de manera discreta e inacabada –desde una dimensión teórica en este desafiante proceso.

Sobre este escenario, a partir de profundas reflexiones con base en algunos aportes teóricos-metodológicos y evidencias provenientes de investigaciones relacionadas a la Alfabetización Científica, Naturaleza de la Ciencia y Enseñanza por Investigación, nos propusimos como objetivo; *elaborar narrativas históricas y preguntas guías enmarcadas en la Revolución Copernicana que, potencialmente, puedan fortalecer Alfabetización Científica.*

Ahora, intentando ser consecuente con la idea de valoración de la integralidad de sujeto y teniendo en cuenta los aspectos de la NdC que defendimos durante el transcurso de la presente, haremos un esfuerzo por socializar algunas reflexiones sobre lo que involucró la consolidación de nuestro objetivo desde los diversos planos de desarrollo de pensamiento científico.

Desde un **plano de pensamiento científico instrumental-operativo**, para llevar a cabo nuestro objetivo, a modo de general, optamos por un itinerario metodológico que incluyó: (i) una reconstrucción histórica-filosófica (general) de algunos episodios enmarcados en la Revolución Copernicana con uso de fuentes secundarias y terciarias (evitando las de carácter divulgativo y didáctico), (ii) la elaboración de narrativas históricas con base –entre otros - en algunos aspectos de los parámetros didácticos-historiográficos sugeridos por Forato (2009), y (iii) la elaboración de preguntas guías sobre cada una de las narrativas históricas elaboradas, valorizando los diversos planos de análisis y desarrollo de pensamiento

científico (PDPC); instrumental-operativo (PIO), personal-significativo (PPS) y relacional- social o cultural (PRSC) propuestos por Labarrere y Quintanilla (2002).

Tras llevar a cabo las diversas etapas aludidas durante el proceso de pesquisa, pudimos –al menos - dar cuenta del objetivo propuesto, el que quedó evidenciado a través de la producción de un total de 6 narrativas históricas y 126 preguntas directrices con base en los PDPC las que - en conjunto - fueron organizadas a partir de los Ejes Estructuradores de la A.C propuestos por Sasseron y Carvalho (2011), donde pusimos un especial énfasis en algunos aspectos de la NdC, reconociendo siempre el carácter humano, colectivo, flexible, inacabado de la ciencia, sujeto a la formación y pensamiento de quien investiga y, por cierto, del contexto socio-cultural y político de la época.

En la primera narrativa histórica, *“Copérnico y el resurgir de la idea heliocéntrica de universo: el inicio de una revolución “científica”, a partir de los objetivos propuestos con base en la A.C, intentamos destacar algunos aspectos, como por ejemplo; el inicio de un quiebre paradigmático a partir de una “nueva” propuesta cosmológica por Copérnico que, en general, era antagónica a la aceptada en los círculos sociales, intelectuales y religiosos de la época en Europa; la crítica inicial de Copérnico al modelo aristotélico-ptolemaico se debió a una causa filosófica, de simetría y simplicidad y no por la discrepancia entre predicciones y observaciones astronómicas; la propuesta de Copérnico en De revolutionibus no se caracterizó por ser matemáticamente menos rigurosa y simple que el Almagesto de Ptolomeo; la propuesta copernicana, careció de una teoría física que lo respaldase en la época, pues la física aristotélica, no daba cuenta para explicar algunos fenómenos celestes y terrestres desde el heliocentrismo; la última obra de Copérnico, fue alterada sin su consentimiento.*

Para esta narrativa histórica, elaboramos 20 preguntas guías (10 en el PIP, 4 en el PPS y 6 en el PRSC), las que nos permitieron problematizar algunos aspectos de ciencia y sobre ciencia, como por ejemplo; *¿por qué hubo interrogantes que no fueron contestadas por el heliocentrismo? (PIO), ¿cómo explicarías tú la caída de los cuerpos desde el heliocentrismo? (PPS), ¿podrían explicar por qué el teólogo luterano Osiander habría modificado el prólogo de la última obra copernicana sin que su autor se enterara? (PRSC).*

Luego, en la segunda narrativa histórica, “*Sí, Giordano Bruno, fue adepto al heliocentrismo, pero, ¿fue mártir por la defensa de éste?*”, destacamos algunos aspectos, tales como: *la dificultad de legitimar el heliocentrismo en espacios coartados la tensión socio-cultural y religiosa de la época en Europa; que Bruno, además de realizar una mayor discusión, refutación y objeción a los clásicos postulados aristotélicos-ptolemaicos que iban en contra de la Tierra en movimiento, defenderá la idea de que, la Tierra, es un planeta más entre los otros, que en estos podría existir vida, y que serían parte de un universo infinito; Giordano Bruno no fue mártir del copernicanismo o de la “ciencia”, sino por defender su libertad intelectual, convicción filosófica y aspectos teológicos que no eran favorables a la tensión política-religiosa que había en el corazón de Europa en la época.*

Para esta narrativa histórica, elaboramos 16 preguntas guías (6 en el PIO, 6 en el PPS, y 4 en el PRSC), como por ejemplo: *¿por qué Giordano Bruno, en cierta medida, se “adhiera” al copernicanismo? (PIO), ¿qué opinas de la Santa Inquisición y su influencia en la producción de conocimiento en Europa? (PPS), ¿Creen ustedes que la consecuencia entre ideales y acciones que tuvo Giordano Bruno, es una característica de la comunidad científica en la actualidad? ¿En qué información o evidencias se han basado para pensar así? (PRSC).*

En la tercera narrativa histórica, “*Si Brahe no era adepto al heliocentrismo, ¿qué sentido tiene estudiarlo en el marco de la Revolución Copernicana?*”, destacamos algunos aspectos como: *el papel de las evidencias astronómicas para cuestionar la convicción y paradigma aristotélico-ptolemaica en torno a la perfección de los cielos y al de las estrellas fijas e inmutables; la importancia del conocimiento y uso de la técnica para la obtención de datos observacionales; la postulación de explicaciones o modelos alternativos para un mismo fenómeno natural; Brahe, tras conocer la primera obra de Kepler, sintió que éste le podría ayudar a validar su modelo híbrido planetario con una teoría matemática, estableciendo más tarde un vínculo intelectual.*

Para esta narrativa histórica, elaboramos 29 preguntas guías (12 en el PIO, 8 en el PPS, y 9 en el PRSC), como por ejemplo: *¿cuál parece haber sido la reflexión de Brahe sobre el cometa de 1577, y cómo lo relaciona con el modelo cosmológico “vigente” a esa época? (PIO), ¿qué opinas sobre el rol de que tienen los datos y*

evidencias en la construcción de un conocimiento científico? (PPS), ¿cómo le explicarían a una nueva generación de jóvenes sobre las influencias de las ideologías y cosmovisiones en la comprensión y/o construcción de un conocimiento de la época de Brahe y Kepler? (PRSC).

Luego, en la cuarta narrativa, “Una aproximación a la génesis de las leyes de movimiento planetario Johannes Kepler”, resaltamos algunos aspectos, tales como: la importancia de la colaboración intelectual entre Brahe y Kepler, donde éste último pudo tener acceso a rigurosos datos de observaciones astronómicas obtenidos por Brahe durante años; Kepler fue un pensador que perteneció a la tradición hermética y nunca dejó de ser un hombre religioso y creer que, la armonía matemática del universo, era una manifestación de Dios, donde el Sol en su posición central, representaba la sabiduría divina; la legitimación de una producción de conocimiento con otros pensadores; la colaboración intelectual no siempre es caracterizada por una misma motivación; la complejidad y consecuencias de quebrar con el axioma platónico sobre círculos perfectos; la importancia de la elaboración de hipótesis y puestas a prueba de las mismas; las ideas de Kepler, en general, fueron muy poco aceptadas, siendo objeto diversas críticas entre los círculos intelectuales.

Para esta narrativa histórica, elaboramos 23 preguntas guías (10 en el PIO, 7 en el PPS, y 6 en el PRSC), como por ejemplo: *Explica a qué se debió la incompatibilidad entre las predicciones y observaciones astronómicas, aun cuando Kepler usó el modelo heliocéntrico y los datos brahianos (PIO); ¿Qué repercusión crees tú que tuvieron las leyes de Kepler en su época? ¿Crees que son usadas en la actualidad? ¿Por qué crees eso? (PPS); Kepler, se dedicó –entre otros- a la religión, a la matemática, a la astrología y a la astronomía. ¿Cómo creen que él conseguía compatibilizar esto en aquel período? ¿Se podría compatibilizar en la actualidad? Argumenten brevemente (PRSC).*

Continuando, en la narrativa histórica titulada “Galileo y el mejoramiento del telescopio. Contribuciones y controversias”, hacemos el intento por mostrar algunos aspectos como: breve contexto socio-cultural de la época; el apoyo privado de Galileo al copernicanismo; una aproximación al origen y proceso de adaptación del telescopio; la publicación de evidencias astronómicas que eran contradictorias a la defensa de la Iglesia; mecanismos de legitimación de las evidencias y conocimientos, entre otros.

Para esta narrativa histórica, elaboramos 21 preguntas guías (10 en el PIO, 6 en el PPS, y 5 en el PRSC), como por ejemplo: *¿Las evidencias en Sidereus Nuncius, fueron pruebas a favor del copernicanismo?, ¿por qué? (PIO); Según tú parecer, ¿el mérito de las evidencias astronómicas con el telescopio, se deben exclusivamente a Galileo?, ¿Por qué? (PPS); ¿Piensan que el conocimiento y uso de la técnica cumple un rol importante para producir conocimiento? Realicen una comparación entre la época de Galileo y la actualidad (PRSC).*

En la última narrativa histórica generada, *Desmitificando el episodio de la manzana de Newton: ¿qué historia me han contado?, además de desmitificar la idea de que Newton descubrió la gravedad tras la caída de una manzana de un árbol, destacamos aspectos, tales como: el valor del conocimiento previo para Newton; la importancia de la elaboración de hipótesis y su puesta a prueba; Newton para avanzar en su noción de gravitación, pasó por varios años de arduo trabajo, donde cambios metodológicos y conceptuales, errores y frustraciones, entre otros.*

Para esta narrativa histórica, elaboramos 17 preguntas guías (7 en el PIO, 5 en el PPS, y 5 en el PRSC), como por ejemplo: *¿Qué ideas parecen haber influenciado el pensamiento de Newton para la elaboración de hipótesis y/o relaciones sobre la gravedad antes de 1665-1666? (PIO); ¿Qué sentido crees tú que tiene desmitificar el episodio de la manzana de Newton? , ¿tiene esto algún valor para ti?, ¿por qué? (PPS); ¿Creen ustedes que aprender una “pseudo-historia de la ciencia” podría afectar su formación en ciencias? Argumenten brevemente (PRSC).*

Por otra parte, desde un **plano de pensamiento de carácter personal-significativo**, quisiera destacar los siguientes aspectos:

En primer lugar, si bien la propuesta fue configurada con base en los aportes de diversos(as) investigadores(as) de las áreas de pesquisa ya citadas, nunca dejé de pensar en el contexto chileno y en mis convicciones de educación, sociedad y cosmovisión, por lo que intenté prestar –en la medida de lo posible - una mayor relevancia a ofrecer subsidios de desarrollo del ser en su integralidad, como también lo han defendido –entre otros – Rubinstein (1963), D’Ambrosio (2007) y Naranjo (2013).

En relación al proceso de materialización de la propuesta, creo pertinente mencionar algunos obstáculos que tuve al trabajar con un abordaje histórico-epistemológico:

Por ejemplo, el desconocimiento que tenía en relación a la carga horaria y esfuerzo que implica realizar una “reconstrucción” histórica de un periodo (aún más cuando el periodo seleccionado es extenso) hizo que, la producción de ésta, resultara ser otro problema para mí. Esto llevó – de alguna manera – a que tomara rumbos y decisiones que no estaban previstas.

Otro obstáculo, fue mi propia formación en física de carácter positivista en la universidad, lo que quedó evidenciado en algunas contradicciones inconscientes entre lo que quería defender con base en la NdC y lo que estaba explicitando en la reconstrucción histórica-epistemológica. Tomar conciencia de éste aspecto y “contrarrestarlo”, si bien se tornó un angustiante desafío, fue una de las cosas más significativa como aprendizaje de este proceso. Pese a esto, y a haber seguido algunas de las orientaciones de Forato (2009), sé que existen varios elementos por mejorar en las narrativas históricas, como por ejemplo, lo relacionado a la linealidad, extensión y confrontación de ideas, lo cual, implicará otros procesos de estudio y reflexión en un futuro.

Por otra parte, para la elaboración de preguntas con base en lo PDPC, tuve otro desafío, pues, si bien existían aspectos y reflexiones teóricas en la bibliografía, había ausencia de directrices metodológicas. En este sentido, crear posibles formas de preguntar, se tornó una necesidad (y un potente insumo para la reflexión), ya que, si bien la elaboración de preguntas en el plano instrumental-operativo parecen ser las de más fácil configuración, en el caso de los otros dos PDPC, el panorama es diferente y carente de trivialidad.

Ahora, desde el **plano de desarrollo del pensamiento científico relacional-social o cultural**, socializamos algunos aspectos que creemos pertinentes:

Quisiéramos reiterar que, la propuesta que hemos elaborado con base en algunos elementos sugeridos por Sasseron y Carvalho (2011) sobre Alfabetización Científica, creemos que se constituye como un potente recurso educativo para fortalecer la formación y/o auto-formación de sujetos que enseñan o aprenden

aspectos de y sobre la “ciencia” enmarcados en la Revolución Copernicana y que, por cierto, lo imaginamos como flexible a adaptación dependiendo de los objetivos que se persigan.

No obstante, insistimos que, un material didáctico en física (u otra disciplina), aun generado por el mejor equipo de expertos en la enseñanza-aprendizaje de ésta, no garantiza autosuficiencia, por lo que el perfeccionamiento de los(as) profesores(as) sobre los distintos componentes de la propuesta, se torna una necesidad.

En este sentido, defendemos que, el recurso elaborado, tendrá un sentido, valor e impacto significativo en la educación científica, en la medida en que, los(as) profesores(as) se sitúen – previamente- en una plataforma democrática de reflexión, análisis y discusión con investigadores(as), donde puedan poner de manifiesto –entre otros - sus concepciones de sujeto, educación, ciencia y su naturaleza, y sea desde aquí donde participen del proceso de adaptación de las narrativas históricas, es decir, pasen de un rol “objeto-actor” a uno de “sujeto-autor”.

Como perspectiva de futuro, esperamos que la presente disertación sirva de apoyo, motivación o debate para la elaboración de recursos educativos o pesquisas venideras en el área, principalmente en Chile, donde las propuestas son encasas y las investigaciones incipientes. En este escenario, uno de los desafíos más cercano, es implementar las narrativas históricas con sus respectivas preguntas guías, e identificar empíricamente sus beneficios y limitaciones.

Por ultimo, los recursos elaborados y reflexiones de la presente, en los meses venideros, además de disponibilizarlos en sitios web de distintas organizaciones relacionadas con enseñanza de las ciencias, esperamos transferirlos y discutirlos en otras instancias y espacios académicos y/o divulgación en el área.

Referencias bibliográficas

ABD-EL-KHALICK, F; LEDERMAN, N. The influence of history science courses on students' views of nature of science. **Journal of Research in Science Teaching**, v.37, n.10, p.1057-1095, 2000.

ABD-EL-KHALICK, F; BOUJAOUDE, S; DUSCH, R; LEDERMAN, N. G; MAMLOCK, R; HOFSTEIN, A; NIAZ, M; TREAGUST, D; TUAN, H. Inquiry in science education: International perspectives. **Science Education**, v.88, n.3, p.397-419, 2004.

ABD-EL-KHALICK, F. Examining the sources for our understandings about science: Enduring confluences and critical issues in research on nature of science in science education. **International Journal of Science Education**, v.34, n.3, p. 353-374, 2012.

ACEVEDO, J; VÁZQUEZ, A; MANASSERO, M. Papel de la educación CTS en una alfabetización científica y tecnológica para todas las personas. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 2, n. 2, p.80-111, 2003.

ACEVEDO, J. El estado actual de la naturaleza de las ciencias en la didáctica de las ciencias. **Revista Eureka de enseñanza y divulgación de las ciencias**, v. 5, n.2, p. 34-69, 2008.

ACEVEDO, J; VÁZQUEZ, A; MARTÍN, M; OLIVA, J; ACEVEDO, P; FÁTIMA, M; MANASSERO, M. Naturaleza de las Ciencias y Educación Científica para la participación ciudadana. Una revisión crítica. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, v. 2, n. 2, p. 121-140, 2005.

ADÚRIZ-BRAVO, A; IZQUIERDO-AYMERICH, M. A research-informed instructional unit to teach the nature of science to pre-service science teachers. **Science & Education**, v.18, p. 1177-1192, 2009.

ADÚRIZ-BRAVO, A. **Una introducción a la Naturaleza de las Ciencias: la epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales**. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica, 2005. 104p.

ALLCHIN, D. Evaluating Knowledge of the Nature of (Whole) Science. **Science Education**, v. 95, n. 3, p. 518-542, 2011.

ALLCHIN, D. Pseudohistory and Pseudoscience, **Science & Education**, n.13, p.179-195, 2004.

ALLCHIN, D. Why respect for history – and historical error – matters. **Science & Education**, v.15, n.1, p. 91-111, 2006.

ALLCHIN, D; ANDERSEN, H; NIELSEN, K. Complementary Approaches to Teaching Nature of Science: Integrating Student Inquiry, Historical Case, and Contemporary Cases in Classroom Practice. **Science Education**, v.98, n.3, p. 461-468, 2014.

AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE. **Science for all Americans: a Project 2061 report on literacy goals in science, mathematics and technology**. Washington D.C: AAAS, 1989.

ANDERSON, R.D. Reforming science teaching: What research says about inquiry? **Journal of Science Teacher Education**, v.13, n. 1, p. 1-12, 2002.

AULER, D; DELIZOICOV, D. Alfabetização Científico-Tecnológica Para Quê? **Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 3, n.1, p. 1-13, 2001.

AZEVEDO, M. Ensino por investigação: problematizando as atividades na sala de aula. In: CARVALHO, A.M.P. (Org.). **Ensino de Ciências, unindo a pesquisa**. São Paulo: CENGAGE, 2004, p. 19-33.

BACHELARD, G. **La formación del espíritu científico. Contribución a un psicoanálisis del conocimiento objetivo**. Buenos Aires: Siglo XXI editores, 1948, 305p.

BAGDONAS, A; CELESTINO, C. Controvérsias sobre a natureza da ciência na educação científica. In: CELESTINO, C; BRZEZINSKI, M (Org.). **Aprendendo ciência e sobre sua natureza: abordagens históricas e filosóficas**. São Carlos: Tipographia Editora Expressa, 2013, p. 213-223.

BAGDONAS, A. **Controvérsias envolvendo a natureza da ciência em sequências didáticas sobre cosmologia**. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências), Instituto de Física, Universidade de São Paulo, 2015.

BARONA, J. **Ciencia e Historia. Debates y tendencias en la historiografía de la ciencia**. Valencia: SEC, 1994. 270 p.

BARROW, L. A brief history of inquiry: From Dewey to Standards. **Journal of Science Teacher Education**, v.17, p.265-278, 2006.

BELL, R; ABD-EL-KHALICK, F; LEDERMAN, N; MCCOMAS, W. F.; MATTHEWS, M. R. The nature of science and science education: a bibliography. **Science & Education**, v. 10, p. 187-204, 2001.

BELLUCCO, A; CARVALHO, A.M.P. Uma proposta de sequência de ensino investigativa sobre quantidade de movimento, sua conservação e as leis de Newton. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 31, n.1, p. 30-59, 2014.

BRUNER, J. **Actual minds possible worlds**. Cambridge: Harvard University Press, 1986. 222p.

BYBEE, R. Achieving scientific literacy. **The Science Teacher**, v.62, n. 7, p. 8-33, 1995.

BYBEE, R; GOODRUM, D. Teaching Science as Inquiry. **Paper** presented at the ANNUAL MEETING OF THE AUSTRALIAN SCIENCE TEACHERS ASSOCIATION, Adelaide, South Australia, 1999.

BYBEE, R. Scientific Literacy. In: GUNSTONE, R. **Encyclopedia of Science Education**. New York, NY: Springer, 2014, p. 944-947.

CACHAPUZ, A; GIL-PÉREZ, D; CARVALHO, A.M.P; PRAIA, J; VILCHES, A. **A Necessária Renovação do Ensino de Ciências**, São Paulo: Cortez, 2005. 264p.

CAJAS, F. Alfabetización científica y tecnológica: la transposición didáctica del conocimiento tecnológico. **Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas**, v. 19, n. 2, p. 243-254, 2001.

CAÑAL, P. La Alfabetización Científica: ¿necesidad o utopía? **Cultura y Educación**, v.16, n.3, p.245-257, 2004.

CARVALHO, A. M. P; SANTOS, E. I; AZEVEDO, M. C. P. S; DATE, M. P. S; FUJI, S. R. S; NASCIMENTO, V. B. **Calor e Temperatura - um ensino por investigação**. 1ª. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2014. 146p.

CARVALHO, A.M.P; GIL-PÉREZ, D. **Formação de professores de ciências. Tendências e inovações**. São Paulo: Cortez Editora, 2011. 127 p.

CARVALHO, A.M.P. Ensino de Ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In: Carvalho, A.M.P (Org.) **Ensino de Ciências por investigação – Condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013. 152p.

CARVALHO, A.M.P; SASSERON, L. Sequências de Ensino Investigativas - Seis: o que os alunos aprendem? In: TAUCHEN, G; SILVA, J. (Org.). **Educação em Ciências: epistemologias, princípios e ações educativas**. Curitiba: Editora CRV, 2012, p. 1-175.

CARVALHO, A.M.P; CASTRO, R. La historia de la ciencia como herramienta para la enseñanza de la física secundaria: un ejemplo en calor y temperatura, **Enseñanza de las Ciencias**, v.10, n.3, p.89-294, 1992.

CARVALHO, A.M.P; VANNUCCHI, A. History, Philosophy and Science Teaching: some answers to “how”? **Science & Education**, v.9, n. 5, p. 427-448, 2000.

CARVALHO, J.C; MEDEIROS, A.S. **Astronomia: Interdisciplinar**. RN: EDUFRN, 2007. 300p.

CHATEL, P. **O castelo das estrelas: a estranha história de Ticho Brahe, astrônomo e grande senhor**. São Paulo: Nova Stella-Edusp, 1990. 309p.

CHIN, C. Teacher questioning in science classrooms: Approaches that stimulate productive thinking. **Journal of Research in Science Teaching**, v.44, n.6, p.815-843, 2007.

CLOUGH, M; OLSON, J. The nature of science: always part of the science story. **The Science Teacher**, v.71, n.9, p.28-31, 2004.

CLOUGH, M. P; What is so Important about Asking Questions? **Iowa Science Teachers Journal**, v.34, n.1, p. 2-4, 2007.

CLOUGH, M; OLSON. J. Teaching and assessing the nature of science: An Introduction. **Science & Education**, v.17, n. 2-3, p. 143-145, 2008.

COHEN, B. **O nascimento de uma nova física**. São Paulo: Edart, 1967. 203p.

COHEN, B; WESTFALL, R. **Newton. Textos; Antecedentes; Comentários**. Trad. de

Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2002. 522p.

COHEN, B. **La revolución newtoniana y la transformación de las ideas científicas**. Trad. de Carlos Solís Santos. Madrid: Alianza Editorial, 1983. 425p.

CONTRERAS, J. Giordano Bruno “*el furioso*”. **Revista de Filosofía y Letras**, n. 65 – 66, p. 1-21, 2014.

CUELLAR, L. **La historia de la química en la reflexión sobre la práctica profesional docente. Un estudio de caso desde la Ley Periódica**. Tesis (Doctorado en Ciencias de la Educación) – Facultad de Educación, Pontificia Universidad Católica de Chile, 2010.

D’AMBROSIO, U. Conocimiento y valores humanos. **Visión Docente Con-Ciencia**, v.6, n. 35, p. 6-18, 2007.

DENG, F; CHEN, D.-T; TSAI, C.-C; TSAI, C. S. Students’ views of the nature of science: A critical review of research. **Science Education**, v. 95, p. 961 – 999, 2011.

DILLON, J. Using questions to foil discussion. **Teaching and Teacher Education**, v.1, n.2, p.109-121, 1985.

DRAKE, S. **Galileo’s Experimental Confirmation of Horizontal Inertia: Unpublished Manuscripts**. Galileo Gleanings XXII. In: JSTOR, 1973.

DRAKE.S. **Galileo Gleanings VI: Galileo’s First Telescopes at Padua and Venice**. Isis, v.50, n.3, p. 245-254, 1959.

DRUMMOND, J; SANTOS, J; WINSTON, A; MARTINS, M; ARAUJO, A; VALDÉSIO, F. Narrativas históricas: gravidade, sistemas de mundo e natureza da ciência. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.21, n.1, p. 99-141, 2015.

EL-HANI, C. N. Notas sobre o ensino de história e filosofia da ciência na educação científica superior. In: SILVA, C. C. (Org.). **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para a aplicação no ensino**. São Paulo: Livraria da Física, 2006, p. 3-21.

EXPLORATORIUM INSTITUTE FOR INQUIRY. **Professional Development Tools for Inquiry-Based Science**. v.3. Effective Questioning, San Francisco University. 2006.

FERNÁNDEZ, L. Las tablas astronómicas de Alfonso X El Sabio. Los ejemplares del Museo Naval de Madrid. **Anales de Historia del Arte**, n.15, p.29 – 50, 2005.

FERRAZ, A; SASSERON, L. Propósitos epistêmicos para promoção da argumentação em aulas investigativas de física. **Comunicação oral XV ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA – Maresias, Brasil, 2014**.

FORATO, T. **A Natureza da Ciência como Saber Escolar: um estudo de caso a partir da história da luz**. Tese (Doutorado em Educação), Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 2009.

FORATO, T; PIETROCOLA, M; MARTINS, R. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Cadernos Brasileiros de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 27-59, 2011.

FORATO, T; GUERRA, A; BRAGA. História das Ciências e Ensino de Ciências. Historiadores das ciências e educadores: frutíferas parcerias para um ensino de ciências reflexivo e crítico. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v.7, n.2, p.137-141, 2014.

FORATO, T; PIETROCOLA, M; MARTINS, R. History and Nature of Science in High School: Building Up Parameters to Guide Educational Materials and Strategies, **Science & Education**, v.21, p. 657-682, 2012.

FORATO, T. Isaac Newton, as profecias bíblicas e a existência de Deus. In: Cibelle Celestino Silva. (Org.). **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Livraria da Física, 2006, p. 191-206.

FOUREZ, G. **Alfabetización científica y tecnológica: acerca de las finalidades de la enseñanza de las ciencias**. Buenos Aires: Ediciones Colihue, 1997. 256p.

FREIRE, O. A relevância da filosofia e história das ciências para a formação dos professores de ciências. In: SILVA FILHO, Waldomiro (ed.). **Epistemologia e Ensino de Ciências**. Salvador: Arcádia/UCSal, 2002, p.13-30.

FREIRE; O; MATOS, M; VALLE, A. Uma exposição didática de como Newton apresentou a força gravitacional. **Física na escola**, v.5, n.1, p. 25-31, 2004.

GARCÍA-CARMONA, A; VÁZQUEZ, A; MANASSERO, M. Estado actual y perspectivas de la naturaleza de la ciencia: una revisión de las creencias y obstáculos del profesorado. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 29, n. 3, p. 403-412, 2011.

GARCÍA, J. J; CAÑAL DE LEÓN, P. ¿Cómo enseñar? Hacia una definición de las estrategias de enseñanza por investigación. **Investigación en la Escuela**, n.25, p. 5-16, 1995.

GIL-PÉREZ, D; FERNÁNDEZ, I; CARRASCOSA, J; CACHAPUZ, A; PRAIA, J. Por uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciências e Educação**, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

GIL-PÉREZ, D; VILCHES, A. Educación ciudadana y alfabetización científica: mitos y realidades. **Revista Iberoamericana de Educación**, v.4, n.2, p. 31-53, 2006.

GRANDY, R; DUSCHL, R. Reconsidering the Character and Role of Inquiry in School Science: Analysis of a Conference. **Science & Education**, v.16, n.2, p. 141-166, 2007.

GÓMEZ-MARTÍNEZ, Y; QUINTANILLA, M; LIRES, M. La actitud hacia la clase de física del estudiantado de secundaria de Chile. XXV ENCUENTRO DE DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES, 2012, Santiago de Compostela, España. **Actas**, Santiago de Compostela: Apice, 2012. p. 373.

GÓMEZ-MARTÍNEZ, Y; QUINTANILLA, M; FARFÁN, P. Acerca de la Historia de la Física Moderna; ¿Qué saben los profesores de ciencia en ejercicio? **Presentación oral** en 2ª CONFERENCIA LATINOAMERICANA DEL INTERNATIONAL HISTORY,

PHILOSOPHY, AND SCIENCE TEACHING GROUP, IHPST, 2012, Mendoza, Argentina.

GRIMBERG, C. **Historia Universal**. Roma. Madrid: Daimon, 1983. 385p.

GUERRA, A; REIS, J.C; BRAGA, M. Uma abordagem histórico-filosófica para o eletromagnetismo no ensino médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.21, n.2, p. 224-248,2004.

HEERING, P. Getting Shocks: Teaching secondary school physics through history. **Science & Education**, v.9, n.4, p. 363-373, 2000.

HODSON, D. Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 12, n. 3, p. 299- 313, 1994.

HOLTON, G. What historians of science and science educators can do for one another? **Science Education**, v. 12, n. 7, p. 603-616, 2003.

HÖTTECKE, D; SILVA, C. C. Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: An Analysis of Obstacles. **Science & Education**, Dordrecht, v. 20, p. 293-316, 2011.

HYSLOP-MARGISON, E; THAYER, J. (2009). **Teaching democracy: citizenship education as critical pedagogy**. Rotterdam: sense publishers. 150p.

IRZIK, G; NOLA, R. A family resemblance approach to the nature of science for science education. **Science & Education**, v. 20, p. 591-607, 2011.

IZQUIERDO, M. Por una enseñanza de las ciencias fundamentada en valores humanos. **Revista Mexicana de Investigación Educativa**, v.11, n. 30, p. 867-882, 2006.

JOGLAR, C. **Elaboración de preguntas científicas escolares en clases de biología. Aportes a la discusión sobre las competencias de pensamiento científico desde un estudio de caso**. Tesis (Doctorado en Ciencias de la Educación), Facultad de Educación, Pontificia Universidad Católica de Chile, 2014.

KEESING, R.G. The history of Newton's apple tree. **Contemporary Physics**, v.39, n.5, p. 377-391, 1998.

KELLY, G. Scientific Literacy, Discourse, and Epistemic Practices. In: Linder, L; Östman, D. A; Roberts, P; Wickman, G; Erikson; A. McKinno. **Exploring the landscape of scientific literacy**. New York, NY: Routledge, 2011, p. 61-73.

KLASSEN, S. The application of historical narrative in Science learning: The atlantic cable story. **Science & Education**, v.16, p. 335-352, 2007.

KOESTLER, A. **Los sonámbulos**. Trad. de Alberto Luis Bixio. D.F. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 1981. 581p.

KOESTLER, A. **O homem e o universo**. Trad. de Alberto Denis. São Paulo: Ibrasa, 1989, 426p.

- KOPONEN, I; MÄNTYLÄ, T. Generative role of experiments in physics and in teaching physics: A suggestion for epistemological reconstruction. **Science & Education**, v.15, n. 1, p.31-54, 2006.
- KOYRÉ, A. **Do mundo fechado ao universo infinito**. Trad. de Donaldson M. Garschagen, 4. ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2006. 156p.
- KOYRÉ, A. **Estudios Galileanos**. Trad. de Mariano González. Madrid: Siglo veintiuno editores, 1980. 338p.
- KUBLI, F. Can the theory of narratives help Science teachers be better storytellers? **Science & Education**, v.10, p.595-599, 2001.
- KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. Trad. de B. V. Boeira e N. Boeira. São Paulo: Perspectiva, 1997.
- KUHN, T. **La revolución copernicana. La astronomía planetaria en el desarrollo del pensamiento occidental**. Trad. de Domenec Bergada. Barcelona: Ariel, 1978, 375p.
- LABARRERE, A; QUINTANILLA, M. La solución de problemas en el aula. Reflexiones sobre los planos de análisis y desarrollo. **Revista Pensamiento Educación**, v. 30, p.121-138, 2002.
- LABARRERE, A. La solución de problemas, eje del desarrollo del pensamiento y las competencias de pensamiento científico, matemáticas y ciencias experimentales. En: Mario Quintanilla (Ed). **Las competencias de pensamiento científico desde “las voces” del aula**. Santiago de Chile: Bellaterra, 2012. p. 47-82.
- LEDERMAN, N. Research on nature of science: reflections on the past, anticipations of the future. **Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching**, v.7, n.1, p. 1-11, 2006.
- LEDERMAN, N, Nature of Science: past, present, and future. In: S. Abell & N. Lederman (Eds), **Handbook of research on science education**. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2007, p.831-880.
- LEMKE, J. Investigar para el Futuro de la Educación Científica: Nuevas Formas de Aprender, Nuevas Formas de Vivir. **Enseñanza de las Ciencias**, v.24, n.1, p. 5-12, 2006.
- LOMBARDI, O. La pertinencia de la historia en la enseñanza de las ciencias: argumentos y contraargumentos. **Enseñanza de las Ciencias**, v.15, n.3, p. 343-349, 1997.
- LOPES, M. **A retrogradação dos Planetas e Suas Explicações: Os orbes dos Planetas e Seus Movimento, da Antiguidade a Copérnico**. Dissertação (Mestrado em História da Ciência), Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2001.
- MARICONDA, P.R. **Galileu Galilei. Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano**. 3 ed. São Paulo: Associação Filosófica Scientiae Studia / Editora 34, 2011, 888p.

MÁRQUEZ, C; ROCA, M. Plantear preguntas: un punto de partida para aprender ciencias. **Revista Educación y Pedagogía**, v.18, n.45, p.63-71, 2006.

MARTINS, A. História e filosofia da ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.24, n.1, p.112-131, 2007.

MARTINS, R. Descartes e A Impossibilidade de Ações À Distância. In: Saul Fuks. (Org.). **Descartes 400 anos: um legado científico e filosófico**. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1998, v. 1, p. 79-126.

MARTINS, R. Como não escrever sobre história da física – um manifesto historiográfico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 23, n. 1, p. 113-129, 2001.

MARTINS, R. Palabras e imágenes en el Tratado de la Esfera de Sacrobosco: aditamento y conflicto. **Representaciones**, v. 4, n. 1, p. 67-92, 2008.

MARTINS, R. **O Universo. Teorias sobre sua origem e evolução**. São Paulo: Livraria da Física, 2012. 228p.

MARTINS, R. **A revolução copernicana** – Curso de História da Física. Grupo de História, Teoria e Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo, 2015. <https://uepb.academia.edu/RobertoMartins/Curso-de-Hist%C3%B3ria-da-F%C3%ADsica>

MARTINS, R. **Commentariolus. Pequeno comentário de Nicolau Copérnico sobre suas próprias hipóteses acerca dos movimentos celestes**. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2003,180p.

MARTINS, R. Introdução: a história das ciências e seus usos na educação. In: SILVA, Cibelle (Org.) **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Livraria da Física,2006, p. 17-30.

MARTINS, R. O que é a ciência do ponto de vista da epistemologia? **Caderno de Metodologia e Técnica de Pesquisa**, n.9, p.5-20, 1999.

MARTINS, R. Alguns aspectos da teoria da gravitação. **Perspicillum**. v.4, n.1, p.9-15, 1990.

MARTINS, R. A maçã de Newton: história, lendas e tolices. In: Cibelle Celestino Silva. (Org.). **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Livraria da Física, 2006, p. 167-189.

MATTHEWS, M. Historia, Filosofía y Enseñanza de las Ciencias: la aproximación actual. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 12, n.2, p. 255-277, 1994.

MATTHEWS, M. **International handbook of research in history, philosophy and science teaching**. New York: Springer, 2014. 2487p.

MCCOMAS, W; ALMAZROA, H; CLOUGH, M. The nature of science in science education: an introduction. **Science & Education**, v.7, p.511-532, 1998.

MCCOMAS, W. Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science. **Science & Education**, v.17, n. 2-3, p.249-263, 2008.

MCCOMAS, W. Uma proposta de classificação para os tipos de aplicação da história da ciência na formação científica: Implicações para a pesquisa e desenvolvimento. In: CELESTINO, C; BRZEZINSKI, M (Org.). **Aprendendo ciência e sobre sua natureza: abordagens históricas e filosóficas**. São Carlos: Tipographia Editora Expressa, 2013, p. 425-448.

MUNFORD, D.; LIMA, M. E. C. C. Ensinar ciências por investigação: em que estamos de acordo? **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 9, n. 1, p. 72-89, 2007.

NARANJO, C. **Cambiar la educación para cambiar el mundo**. Barcelona: La llave, 2013. 536p.

NASCIMENTO, V.B. **Visões de Ciência e Ensino por Investigação**. Dissertação (Mestrado em Educação), Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 2003.

NORRIS, S; PHILLIPS, L. Scientific Literacy: Its Relationship to "Literacy". In: GUNSTONE, R. **Encyclopedia of Science Education**. New York, NY: Springer, 2014, p. 947-950.

NORRIS, S; GUILBERT, S; SMITH, M; HAKIMELAHI, S; PHILLIPS, L. A theoretical Framework for Narrative Explanation in Science. **Science Education**, v.89, n.4, p.535-563, 2005.

OCDE. **Resultados de PISA 2012 en FOCO. Lo que los alumnos saben a los 15 años de edad y lo que pueden hacer con lo que saben**, 2014. http://www.oecd.org/pisa/keyfindings/PISA2012_Overview_ESP-FINAL.pdf

PEDUZZI, L. Sobre a utilização didática da História da Ciência. In: PIETROCOLA, Maurício (org.) **Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: Editora UFSC,2001, p.151-170.

PEDUZZI, L. **Evolução dos conceitos da Física. Força e movimento: De Thales a Galileu**. Publicação interna, Depto. Física, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008. 165p. http://fisica.uems.br/praxedes/tales_galileu.pdf

PESSOA, O. Newton e o paradigma das forças a distância. In: Osvaldo Pessoa, **Teoria do Conhecimento e Filosofia da Ciência I**, 2014, p. 85-91. <http://www.fflch.usp.br/df/opessoa/TCFC1-14-Cap17-18.pdf>

PUMFREY, S. History of science in the national science curriculum: A critical review of resources and their aims. **British Journal of History of Science**, n.24, p. 61–78,1991.

QUINTANILLA, M. Identificación, caracterización y evaluación de competencias científicas desde una imagen naturalizada de las ciencias. In: QUINTANILLA, M; y ADÚRIZ-BRAVO, A (eds.). **Enseñar Ciencias en el Nuevo Milenio. Retos y propuestas**. Santiago: Ediciones Pontificia Universidad Católica de Chile, 2006, p. 17-42

QUINTANILLA, M. **Historia de la Ciencia. Aportes para la formación del profesorado**. Santiago de Chile: Arrayan, 2007. 120p.

QUINTANILLA, M; DAZA, S; CABRERA, H. **Historia y Filosofía de la Ciencia. Aportes para una 'nueva aula de ciencias', promotora de ciudadanía y valores.** Barrancabermeja: Editorial Bellaterra, 2014. 354p.

REVEL, A; ADÚRIZ-BRAVO, A., MEINARDI, E. El formato narrativo en la enseñanza de un mundo complejo de salud y enfermedad. **Revista de Educación en Biología**, v.16, n.1, p.28-36, 2013.

ROCA, M. Las preguntas en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias. **Educación**, v. 33, n. 2, p. 73-80, 2005.

ROCHA, J.F; LEON, R; RUBIM, S; SILVA, R; FREIRE, O; RIBEIRO, A. **Origens e evolução das ideias da física.** Salvador: EDUFBA, 2ed, 2015. 374p.

RUBINSTEIN, S. **El ser y la conciencia. El pensamiento y los caminos de su investigación.** Trad. de Augusto Vidal. Granjas: Grijalbo, 1963. 435p.

RUTHERFORD, F. J. The role of inquiry in science teaching. **Journal of Research in Science Teaching**, v.2, p. 80–84, 1964.

SCHIFFER, H. **Narrativas históricas: discutindo a natureza da ciência através de uma abordagem histórico-filosófica.** Dissertação (Mestrado em Ciência, Tecnologia e Educação), CEFET, 2012.

SÁNCHEZ, I; GÓMEZ-MARTÍNEZ, Y; VILLALOBOS, C. Hacia un aprendizaje significativo de la cinemática a partir de una salida a terreno. **Journal of Science Education**, v.15, n.1, p. 44-48, 2014.

SANDOVAL, W. Understanding Students' Practical Epistemologies and Their Influence on Learning Through Inquiry, **Science Education**, v.89, n.4, p. 634–656, 2005.

SANTOS, M. E. Encruzilhadas de mudança no limiar do século XXI: coconstrução do saber científico e da cidadania via ensino CTS de ciências. **Atas ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS**, v.2, p-1-14, 1999.

SANTOS, B. **Una epistemología del Sur.** México: Siglo XXI, 2009. 368p.

SASSERON, L; BRICCIA, V; CARVALHO, A.M.P. Aspectos da natureza da ciência em sala de aula: exemplos do uso de textos científicos em prol do processo de Alfabetização Científica dos estudantes. In: CELESTINO, C; BRZEZINSKI, M (Org.). **Aprendendo ciência e sobre sua natureza: abordagens históricas e filosóficas.** São Carlos: Tipographia Editora Expressa, 2013, p. 265-76.

SASSERON, L; CARVALHO, A.M.P. Almejando a Alfabetização Científica no Ensino Fundamental: a proposição e a procura de indicadores do processo. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.13, n.3, p. 333-352, 2008.

SASSERON, L; CARVALHO, A. M. P. Alfabetização Científica: uma revisão bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.16, n.1, p. 59-77, 2011.

SOLBES, J; TRAVER, M. La utilización de la historia de la ciencia en la enseñanza de la química y física. **Enseñanza de las Ciencias**, v.14, n.1, p. 103-112, 1996.

SOLINO, A; FERRAZ, A, SASSERON, L. Ensino por investigação como abordagem didática: desenvolvimento de práticas científicas escolares. **Comunicação oral** em XXI SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA – SNEF, 2015.

SOUZA, V; SASSERON, L. As perguntas em aulas investigativas de ciências: a construção teórica de categorias. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 12, n.2, p. 29-44, 2012.

SOUZA, V. **A importância da pergunta na promoção da alfabetização científica dos alunos em aulas investigativas de física**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências), Instituto de Física, Universidade de São Paulo, 2012.

SPRONKENS SMITH, R; WALKER, R. Can inquiry based learning strengthen the links between teaching and disciplinary research? **Studies in Higher Education**, v. 35, n.6, p.723-740, 2010.

TAMAYO, O; ORREGO, M. Aportes de la Naturaleza de las Ciencias y del contenido pedagógico del conocimiento para el campo conceptual de la educación en ciencias. **Revista Educación y Pedagogía**, v. 17, n. 43, p. 13-25, 2005.

TEIXEIRA, E; FREIRE, O; GRECA, I. La Enseñanza de la Gravitación Universal de Newton orientada por la Historia y la Filosofía de la Ciencia: Una Propuesta Didáctica con un Enfoque en la Argumentación. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 33, p. 205-223, 2015.

TEIXEIRA, E; GRECA, I; FREIRE, O. The History and Philosophy of Science in Physics Teaching: A Research Synthesis of Didactic Interventions. **Science & Education**, v. 21, n.6, p. 771-796, 2012.

TEIXEIRA, E; PEDUZZI, L; FREIRE, O. Os caminhos de Newton para a gravitação universal: uma revisão do debate historiográfico entre Cohen e Westfall. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n. 2, p. 215-254, 2010.

TOSSATO, C. Astronomia e a cosmologia de J. Kepler. **Revista Primus Vitam**, n. 2, p. 1-9, 2011.

TOSSATO, C. Discussão cosmológica e renovação metodológica na carta de 9 de dezembro de 1599 de Brahe a Kepler. **Scientiae.studia**, v.3, n.4, p. 537-565, 2004.

TOSSATO, C. Os primórdios da primeira lei dos movimentos planetários na carta de 14 de dezembro de 1604 de Kepler a Mastlin. **Scientiae.studia**, v.1, n.1, p. 195-206, 2003.

TOSSATO, C. A importância dos instrumentos astronômicos de Tycho Brahe para a astronomia e a cosmologia dos séculos XVI e XVII. In: IV SEMINÁRIO DE HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA, 2010, Ilhéus. **Anais IV Seminário de História e Filosofia da Ciência**, 2010. p. 1-3.

UNESCO. **Declaración sobre la ciencia y el uso del saber científico**, 1999.

http://www.unesco.org/science/wcs/esp/declaracion_s.htm

VANNUCCHI, A. **História e Filosofia da Ciência: da Teoria para a sala de aula.** Dissertação (Mestrado em Educação), Faculdade de Educação e Instituto de Física, Universidade de São Paulo, 1996.

VILAS BOAS, A; SILVA, M.R; PASSOS, M.M; ARRUDA, S. História da Ciência e Natureza da Ciência: Debates e Consensos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.30, n.2, p. 287-322, 2003.

VILCHES, A; FURIÓ, C. Ciencia, tecnología, sociedad: implicaciones en la educación científica para el siglo XXI. **Presentación** en el I CONGRESO INTERNACIONAL DIDÁCTICA DE LA CIENCIAS, OEI. La Habana, Cuba, 1999.

VINATEA, E. **Memoria, Imaginación y Sabiduría.** Tesis (Doctorado en Filosofía), Facultad de Filosofía, Universidad Complutense de Madrid, 2005.

VITAL, A; GUERRA, A. Natureza da ciência no ensino de física: estratégias didáticas elaboradas por professores egressos do mestrado profissional. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.31, n.2, p.225-257, 2014.

WESTALL, R. **Isaac Newton: uma vida.** Trad. de Menchu Gutiérrez. Madrid: Akal, 2006. 320p.

WINDSCHITL, M; THOMPSON; BRAATEN, M. Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. **Science Education**, v.92, n.5, p.941–967, 2008.

YATES, F. **Giordano Bruno y la tradición hermética.** Trad. de Domené Bergadá. Barcelona: Ariel Filosofía, 1983. 529 p.

ZANETIC, J. **Gravitação** – Notas de aula. Instituto de Física da Universidade de São Paulo, 1995.

Apéndice

UNIVERSIDAD DE SÃO PAULO
FACULTAD DE EDUCACIÓN

Una reconstrucción histórica-epistemológica general sobre algunos episodios enmarcados en la Revolución Copernicana

Yadrán Gómez Martínez

São Paulo
2015

1. Copérnico y la cosmología heliocéntrica: el inicio de una revolución científica

Como ya indicamos al inicio de la sección anterior, poco después de un complejo, dubitativo y cambiante periodo europeo, nace Nicolás Copérnico en el año 1473, en la ciudad de Torun, Polonia.

Debido a que su familia consideraba la educación como un pilar fundamental para la formación humana, desde pequeño, consiguió un adecuado y amplio bagaje cultural. De hecho, aun cuando en su niñez su padre fallece, continuaría recibiendo una excelente formación académica tras que, su tío directo, el príncipe – obispo de Ermland, Lucas Watzelrode, asume la adopción y formación de éste (QUINTANILLA et al., 2014).

En 1491, es decir, un año antes del “descubrimiento” de América por Cristóbal Colón, Copérnico, habría ingresado a estudiar a la Universidad de Cracovia, donde haría estudios generales durante 4 años, hasta que decide viajar a Italia, para iniciar estudios de medicina y derecho en la Universidad de Bolonia, donde años más tarde, se habría tornado profesor de astronomía, el área de conocimiento que, personalmente, lo apasionaba.

No obstante, antes de realizar sus grandes contribuciones en la comunidad científica por la que hoy es reconocido, en función a los varios años que utilizó en su vida para formarse en medicina y a que había recibido el grado de doctor por derecho canónico, trabajaría como médico, tanto para la realeza y altos clérigos que necesitaban de sus servicios, como también, para grupos de personas socioculturalmente vulnerables, hasta el año 1503, cuando regresa a Polonia a trabajar de asesor de su tío Lucas, quien fallecería en el año 1512. Tras éste acontecimiento, se traslada a Frauenburg, norte de Polonia, en donde dedicará el resto de su vida a servir al círculo eclesiástico.

En este lugar, influenciado por los ideales de la belleza divina y perfección del mundo de Platón, también habría continuado con su motivación y reflexiones sobre astronomía.

Al respecto, es de destacar que, Copérnico, también era un gran admirador de Ptolomeo, pues reconocía la gran organización del Almagesto; los capítulos y la elección de la secuencia en que son presentados (COHEN, 1967). No obstante, Copérnico, se volvería un crítico del sistema propuesto por Ptolomeo.

En este sentido, cabe destacar que, la motivación de Copérnico por buscar respuestas alternativas a las de Ptolomeo, no habría sido por las inconsistencias entre el sistema de Ptolomeo y las observaciones astronómicas. Según Martins (2015), la discrepancia de Copérnico, se basaban en las siguientes razones:

4. Una razón filosófica: el Sol, al ser la fuente de luz principal, debe ser el centro del universo.
5. Una razón teórica de simetría: el sistema de Ptolomeo, al usar ecuantos y excéntricos, es de carácter irregular.
6. Una razón de simplicidad: el sistema de Ptolomeo, al tener un mayor de “círculos”, es más complejo.

Frente a estas reflexiones, Copérnico, aproximadamente en el año 1510, motivado de poder construir un sistema que recuperase la concepción de armonía geométrica presente en los antiguos pitagóricos, habría escrito su manuscrito (aunque por ahora sin artificios geométricos) *De hypothesibus motuum coelestium a se constitutis commentariolus* (en español, Comentario sobre las teorías de los movimientos de los objetos celestes a partir de sus disposiciones), cuya producción se rehusó a socializar públicamente, restringiéndose sólo a un grupo pequeño de amistades, pues, tenía temor a las posibles críticas en el caso de no ser capaz de probarlas. De hecho, aun cuando circuló, quedó como inédito hasta el siglo XX.

De esta manera, y como indica Koestler (1989, p.145), esta obra intelectual teórica de Copérnico, se sintetizan en siete axiomas que resumían las principales hipótesis: no todos los cuerpos celestes se mueven en torno del mismo centro; la Tierra no es el centro del universo, pero sí de la Luna y gravedad terrestre; el Sol es el centro del sistema planetario y, por lo tanto, del universo; la distancia de la Tierra al Sol, es pequeña comparada al de las estrellas fijas; la revolución aparente diaria del firmamento, se debe a la rotación de la Tierra sobre su propio eje; el movimiento aparente anual del Sol, se debe al hecho de que, la Tierra, como los demás planetas, gira alrededor del Sol; que las “estaciones y retrogradaciones” aparentes de los planetas, se deben a la misma causa anterior.

Con lo anterior, ya se perciben las ideas revolucionarias, las que serían publicadas – oficialmente -mucho más adelante, en su libro de las Revoluciones, al que haremos referencia en párrafos venideros.

En este periodo, las observaciones astronómicas y la cartografía, con la finalidad de mejorar aún más las rutas de las grandes navegaciones, tomaban una mayor importancia. En este sentido, producto del mismo interés, se acentuaron las discrepancias y controversias en relación al sistema aristotélico-ptolemaico, pues, lo que se postulaba en éste, no se condecía exactamente con lo que conseguía observar con los instrumentos del momento.

Como hace mención Zanetic (1995), algunos de los problemas astronómicos que no se podían responder a partir del paradigma dominante, eran los siguientes:

4. Una explicación convincente sobre la retrogradación planetaria.
5. Ausencia explicativa sobre por qué Venus y Mercurio siempre eran vistos en las proximidades del Sol.
6. Ausencia explicativa sobre por qué Marte, Júpiter y Saturno podían ser vistos en oposición al Sol.
7. Ausencia explicativa sobre la separación de los planetas en relación al Sol.

Sumado a lo anterior, los estudiosos de la época, hallaban constantes errores en el calendario juliano, el que también había sido elaborado en base al modelo geocéntrico griego.

Sobre este escenario, no pasaría mucho tiempo en que se comenzaría a cuestionar seriamente el sistema señalado, ante lo cual, la Iglesia, comienza a buscar a intelectuales que pudieran dar respuesta divina–racional al porqué de tales incongruencias entre lo teórico y lo observacional. De esta manera, en el año 1514, por encargo del Papa León X, Nicolás Copérnico, es invitado a la reformulación del calendario eclesiástico (KOESTLER, 1989).

Tras la consulta encomendada, Copérnico, pudo percibir que, los errores anteriormente señalados, se debían a la incerteza de los movimientos celestes, lo cual, exigiría necesariamente una reformulación en la astronomía aristotélica-ptolemaica, cuya respuesta, en parte, se encontraba en el trabajo que había estado desarrollando silenciosamente.

Así, Copérnico, habría continuado trabajando en su obra inicial, cuyas ideas, serían cristalizadas en su efervescente obra intelectual teórica-matemática, *De revolutionibus orbium coelestium* (en español, Sobre las revoluciones de los orbes celestes), la cual, aun materializada en 1530, su divulgación, tendría un retraso de 13 años.

Al respecto, se hace importante mencionar el hecho de que, Copérnico, para escribir tal producción, es fuertemente incentivado por su discípulo de 25 años, el suizo Jorge Rético (1514 -1576), quien más adelante, sería la persona que garantizaría la publicación de la producción científica.

Sin embargo, a pesar de lo anterior, el proceso de divulgación oficial de la gran obra de Copérnico, estuvo caracterizado por comportamientos humanos inadecuados que, en lo concreto, se habría traducido en la manipulación de la obra original.

Lo anterior, habría ocurrido tras que, Rético, habría derivado la responsabilidad de velar por la obra de Copérnico al teólogo luterano y editor literario alemán, Andreas Osiander (1498-1552), quien tendría que terminar de supervisar la impresión del libro. En ese momento, Osiander, quien se oponía a los postulados copernicanos, lo toma como una oportunidad para realizar algunas modificaciones al documento, indicando así, que lo explicitado, sólo era una hipótesis matemática. Tras esta alteración, el libro de Copérnico, será publicado en el año 1543, justo en el año de la muerte del autor.

La famosa obra intelectual de Copérnico, al contrario de lo que varios piensan o han escrito, no se caracterizó por ser más simple que la obra de Ptolomeo. De hecho, Copérnico, también utilizó los elementos matemáticos como “círculos”, deferentes, excéntricos y epiciclos, a tal punto que, cualquier movimiento celeste copernicano, también podría ser explicado por un sistema ptolemaico (COHEN, 1967; ZANETIC, 1995; MARTINS, 2015). De hecho, el número de esferas, desde su obra Comentarios a Revoluciones, habría aumentado de 34 a 48 respectivamente, lo cual, superaba el número de Ptolomeo, quien postulaba sólo 40 esferas (COHEN, 1967; KOESTLER 1989).

En función a lo anterior, es una imperante necesidad delimitar y destacar dónde estuvo la gran innovación de Nicolás Copérnico.

La respuesta más popular entre los historiadores de la ciencia y científicos, es que, la innovación de Copérnico, habría estado en atribuir a la Tierra, la misma posición jerárquica del resto de los planetas, reservando una posición especial al Sol, el cual, ocuparía el centro del universo (COHEN, 1963; ZANETIC, 1995; KOYRÉ, 2006; MARTINS, 2015).

Al respecto, Koestler (1989) indica que, rigurosamente, el modelo de universo postulado por Copérnico, era de carácter “vacío-céntrico”, pues, el Sol estaba en el centro, sino que, muy cerca de éste. Sin embargo, las producciones científicas, divulgativas y educativas, han legitimado que, Copérnico, habría propuesto un sistema helio-estático del universo (ver ilustración 1).

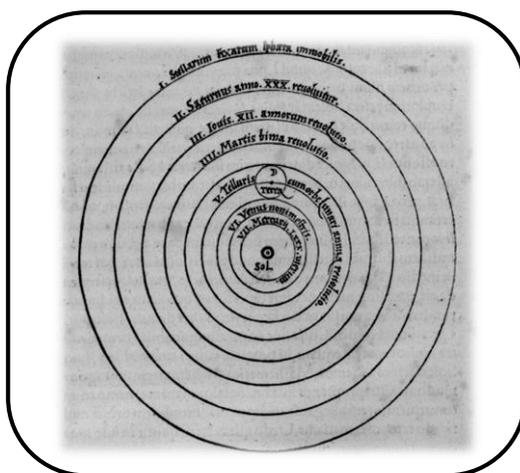


Ilustración 1 - Modelo heliocéntrico de Copérnico
Fuente: <http://www.hps.cam.ac.uk/starry/copernicuslrg.jpg>

Con el sistema propuesto por Copérnico, se podría dar respuesta a algunos de los problemas que el geocentrismo no había podido responder. Por ejemplo, algunos de estos eran:

5. Si la Tierra gira en torno de su eje, el movimiento diario de los cuerpos celestes (Luna, Sol, estrellas y planetas), son sólo movimientos aparentes (guiados directamente por nuestros sentidos).
6. Los planetas, al tener un periodo de revolución en torno al Sol que es directamente proporcional a su distancia con respecto al Sol, habrá una evidente velocidad relativa entre estas. Por lo tanto, el movimiento retrógrado observado desde la Tierra, es aparente. Lo anterior, se puede representar en la ilustración 2.

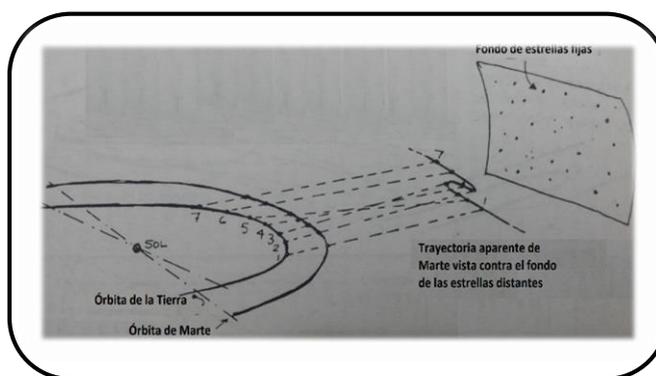


Ilustración 2 - Representación del movimiento aparente de Marte con respecto a la Tierra, cuando gira alrededor del Sol

Fuente: adaptado de COHEN, 1967, p.43.

7. En función a lo anterior, se puede deducir que, cada vez que un planeta pase cerca de la Tierra, el brillo con respecto a esta, será más intenso.
8. A partir del sistema copernicano, se puede obtener la secuencia de alejamiento de los planetas, a partir del Sol.

Sin embargo, aun dando respuestas a estos fenómenos, el sistema de Copérnico, tendría varias objeciones.

Al respecto, en el cuadro 1, se presentarán algunas objeciones y, al mismo tiempo, algunas justificaciones por parte de Copérnico.

Nº	Objeción	Refutación de Copérnico
1	<ul style="list-style-type: none"> • Si la Tierra girara, se rompería, y todas las cosas serían lanzadas fuera de ésta. 	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Por qué el cielo no se rompe si el movimiento de este es más rápido? • Si la Tierra gira y no se rompe, es porque es un movimiento natural y no violento.
2	<ul style="list-style-type: none"> • Si la Tierra girara, los pájaros y las nubes, serían vistos como si se movieran hacia el oeste. 	<ul style="list-style-type: none"> • El aire y las cosas que están en este, se mueven junto a la Tierra. • Sólo el aire que está más cerca de la superficie de la Tierra es el que se mueve con ésta.
3	<ul style="list-style-type: none"> • Los movimientos naturales de los 4 elementos, son rectilíneos y radiales en relación al universo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los cuerpos esféricos tienden a girar naturalmente.

		<ul style="list-style-type: none"> • Los movimientos rectilíneos, no son naturales, sólo ocurren para traer un cuerpo devuelta a su lugar natural. • Los movimientos “circulares” son los únicos armoniosos, perfectos y naturales. • Los cuerpos terrestres, acompañan el movimiento natural de rotación terrestre, ya sea cuando caen, o cuando suben.
4	<ul style="list-style-type: none"> • Ausencia de paralaje estelar. Una pregunta que era realizada era ¿por qué no se pueden observar cambios en la posición relativa de las estrellas, si la Tierra orbita alrededor del Sol? 	<ul style="list-style-type: none"> • El radio del universo debe ser mucho mayor a lo que pensaban los antiguos griegos. De esta manera, las estrellas, están tan distantes que es imposible observar paralaje.

Cuadro 1 - Objeciones y contrargumentos sobre el heliocentrismo

Fuente: elaborado por el autor

Cabe destacar que, es en la objeción 3 realizada a Copérnico, en que este hace referencia a la gravedad, indicando que ésta, no es una tendencia de los cuerpos pesados hacia el centro del universo, sino que, es una apetencia natural colocada en partes por el autor del universo, para que éstas se junten en una unidad entera, en un formato esfera (KOESTLER, 1989). Por lo tanto, desde esta premisa, los cuerpos - dentro de la Tierra - caerían a ésta, por ser semejantes entre sí, y ser parte de la unidad terrestre.

Finalmente, otras objeciones al sistema copernicano, pero sin refutación del autor, fueron:

8. El sistema copernicano, al descentralizar la Tierra en reposo defendida en el sistema aristotélico-ptolemaico, también enfrentaba el desafío de una nueva física, para explicar los fenómenos de una Tierra en movimiento, la cual, no estaba a su alcance.
9. Por último, el sistema copernicano, al proponer a la Tierra como un planeta más, eliminaba la división entre el cielo y la Tierra, y así, la idea de perfección y corrupción. Por lo tanto, enfrentaba totalmente el dogma religioso dominante.

Pese a lo anterior, el libro de Copérnico, no tendría una censura inmediata. De hecho, su obra intelectual, sólo entraría en la categoría de libros prohibidos de la Iglesia Católica, Índice, después de 73 años de su publicación.

Con todo lo anterior, el sistema copernicano, aun siendo una propuesta revolucionaria, no tuvo la aceptación rotunda entre sus pares. Casi todos los astrónomos de la época, aun cuando reconocen el excelente y riguroso trabajo matemático de Copérnico, no lo legitiman por el hecho de que su sistema no describía fielmente la realidad.

Sin embargo, los astrónomos y la sociedad de la época, desconocían que, la propuesta copernicana, era el inicio de una gran revolución científica, la cual, como en algún momento aludimos, se consolidó a partir de las contribuciones de otras personas, entre las que podemos mencionar a Thomas Digges, Giordano Bruno, Tycho Brahe, Johannes Kepler, Galileo Galilei, René Descartes, Hooke e Isaac Newton. Este proceso de consolidación, duraría más de 100 años.

Continuando con esta línea de razonamiento, en las próximas secciones, pondremos en evidencia el proceso para la consolidación del copernicanismo, no sólo porque fue relevante e influyente para la sociedad, sino que también, porque constituye un pilar fundamental, para la venidera gravitación de Newton.

Hasta el momento, no hemos ahondado más en el concepto de gravedad, ni menos en la Gravitación Universal, por el simple hecho de que, históricamente en las ciencias, no fue un concepto revolucionario, sino que uno más dentro de un conjunto de tópicos astronómicos y cosmológicos, enmarcados y desarrollados dentro de concepciones de universo vulnerables a la transformación (CAMINO, 2006).

De esta manera, como mencionamos, en la presente, continuaremos con un desarrollo sistémico de la evolución histórica, epistemológica y sociológica a partir del copernicanismo, lo que influirá determinantemente en la gran sistematización que irá a efectuar Isaac Newton.

1.1 Un paréntesis contextual relevante de la época

A la muerte de Nicolás Copérnico, podemos destacar algunos hitos relevantes de la historia:

1. Desde Europa, tras la consolidación de la escuela náutica formada por astrónomos, geógrafos, navegante y cartógrafos, se amplía el mundo conocido, tras el “descubrimiento” accidental de América.

Este escenario, provocaría que las monarquías portuguesas y españolas “descubridoras”, al ser ambas cristianas, tuvieran una intervención del Papa Alejandro VI, quien en el año 1493, dictará la Bula Inter Caetera, en la cual, se propone una división territorial entre ambos países. Inconforme de lo anterior, los portugueses, llegan a un acuerdo con los Reyes Católicos de España, firmando así, el tratado de Tordesillas, en el cual, se otorga y legitima una mayor extensión territorial por parte de Portugal en América.

2. Por otra parte, la Iglesia Católica, ya había entrado en un periodo de crisis interna, tras que, el teólogo y fraile agustino alemán, Martín Lutero (1483-1576), en el año 1517, a través de sus 95 tesis, habría acusado a la Iglesia sobre la venta de indulgencias⁵³.

Lutero, al defender las fuentes originales de inspiración cristiana, sostenía que, Dios, no se fijaba en las obras de las personas, sino que en la fe. Asimismo, defiende que, cada persona, es libre de interpretar la Biblia y, finalmente, suprime el culto a la Virgen y a los santos.

La Iglesia, representada por el Papa León X, tras analizar los escritos y enseñanzas de Lutero, los declara como heréticos, por lo que deciden la excomunión de su autor.

Lutero, procede a quemar públicamente la bula papal de excomunión, por lo que su acto, se iría traducir en destrucción inmediata de sus escritos y destierro. Ante esta sentencia, en consideración a que sus escritos habrían alcanzado una gran cobertura territorial y había sumado adherentes de la nobleza y burguesía alemana, en 1529, se levanta una gran protesta, dando origen al apelativo de protestantes.

Desde esta controversia, no sólo acontecerían situaciones conflictivas análogas dentro de Alemania, sino que también, en el resto de Europa.

Finalmente, el avance del protestantismo, llevaría a la Iglesia Católica a la imperativa necesidad de reformarse, para impedir que continuase su progresivo debilitamiento como autoridad moral y espiritual.

⁵³ Las indulgencias, es un concepto de la teología que consiste en que, ciertas consecuencias del pecado, pueden ser objeto de remisión por ciertos representantes de la Iglesia, ante algunas condiciones.

Así, en el año 1545, para detener el avance del Protestantismo en Europa, la Iglesia Católica, representada por el Papa Paulo III, convoca al Concilio de Trento⁵⁴, el que desarrollaría en un proceso de 25 sesiones hasta el año 1563, es decir, duró casi 20 años.

Tras acabar el proceso, se socializan los consensos de la reforma de la Iglesia Romana o Contrarreforma, cuyos principales acuerdos, fueron los siguientes:

- a) En lo doctrinario, se reafirman los dogmas y sacramentos; se reconoce la Biblia inspirada por Dios, se consensua que la fe y las buenas obras llevan a la salvación, se confirman los 7 sacramentos, y se reconoce la existencia de pecado original, el que sería borrado con el bautismo.
- b) En lo disciplinario, se redefinió el papel del clero y la jerarquía; los obispos deben residir en sus diócesis, los cardenales y obispos deben rendir cuenta a Roma de los beneficios que reciben, se acordó que un catecismo debería recoger la doctrina conciliar, y se confirma la supremacía papal.

Cabe destacar que, la reforma conciliar, adquiere gran relevancia en España y Portugal. Para esto, se contaría con instrumentos eficaces contra las herejías: por una parte, se tendría el Tribunal de Santo Oficio de y la Inquisición romana en 1542, y por otra, el *Index librorum prohibitorum* (en español, Índice de los libros prohibidos) a cargo de la Congregación del Índice.

El primer Índice oficial, habría sido publicado en 1559 en Venecia, en cuya circunstancia, no habría estado el libro de Nicolás Copérnico.

Finalmente, cabe destacar que, fue así como, poco a poco, la Iglesia Católica, se comienza a fortalecer nuevamente, dando inicio a la fundación o reorganización de numerosas órdenes religiosas, las que se abrirían a misionar en África, Asia y América.

1.2 Primeras defensas al copernicanismo

En primer lugar, destacamos que, la publicación de la obra copernicana, no tendría una repercusión intelectual inmediata. De hecho, como menciona Koestler (1989), a excepción de Thomas Digges, William Gilbert y Giordano Bruno, la defensa por los postulados de Copérnico, no aparecería hasta que entran en escena Johannes Kepler y Galileo Galilei.

En este mismo sentido, Zanetti (1995), indica que, los primeros 50 años tras la muerte de Copérnico y publicación de su obra, la influencia de su libro, fue insignificante. De hecho, hasta finales del siglo XVI, era más recordado por sus tablas astronómicas, que por su sistema de mundo.

Tras este escenario, aparece una primera persona que intentará dar sustentación a las ideas de Copérnico: el astrónomo y matemático inglés, Thomas Digges (1546-1595).

Digges, en el año 1576, habría publicado el texto *A Perfit Description of the Caelestiall Orbes according to the most aunciente doctrine of the Pythagoreans, lately revived by Copernicus and by Geometricall Demonstrations approved* (en español, Una descripción perfecta de las orbes celestes según la antiquísima doctrina de los pitagóricos, recientemente resucitada por Copérnico y reforzada por demostraciones geométricas).

⁵⁴ Concilio de Trento, fue un Concilio ecuménico, es decir, una asamblea de la Iglesia Católica con carácter general, a la que son convocados todos los obispos para reconocer la verdad en materia de doctrina o de práctica y proclamarla.

Según Koyré (1979), en este libro, Digges, aun cuando apoya la mayoría de las ideas del *De revolutionibus celestium* de Copérnico, sería la primera persona en substituir la idea de mundo cerrado, por uno abierto (ver ilustración 3).

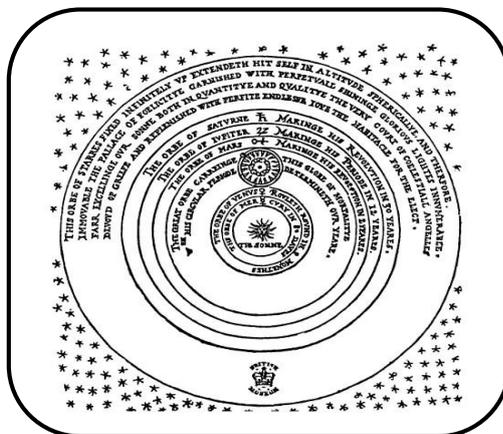


Ilustración 3 - Representación de universo infinito de Thomas Digges
Fuente: extraído de KOYRÉ, 2006, p. 36

Por lo tanto, Digges, al retirar la frontera del universo, expande el lugar de las estrellas para un espacio infinito, agregando la idea de que éstas, se podrían distribuir a diversas distancias.

Otra persona que se hace relevante en la historia de la ciencia, fue el astrónomo, filósofo, matemático, poeta y astrólogo italiano, Filippo Bruno (1548-1600), más conocido como Giordano Bruno.

Bruno, se comenzaría a formar en teología desde su adolescencia, pero, al comenzar algunas refutaciones en contra los principios religiosos, tales como, el culto a los santos y a las imágenes, en su transcurso de formación, tendría algunas acusaciones de herejía. Sin embargo, tales acusaciones, no tendrían consecuencias, por lo que podría proseguir sus estudios.

De esta manera, Giordano Bruno, al ser una persona con gran curiosidad intelectual, comienza a buscar espacios en diversas áreas de conocimiento, que le permitieran desarrollar su filosofía.

Giordano Bruno, dentro de su propia aventura, habría entrado en contacto con diversas obras intelectuales, que influirían en las profundas y críticas reflexiones en torno al paradigma cosmológico de la época.

No obstante, ese proceso de autoconfiguración de itinerario intelectual, no estaría caracterizado por la tolerancia a la diversidad de pensamiento, al contrario, su filosofía, al ser diferente y antagónica al de la época, lo habría llevado a enfrentar varias y continuas controversias e intolerancias.

Al respecto, Contreras (2014, p.1), destaca lo siguiente en relación a Giordano:

[...] su peregrinar por varias ciudades de Europa, las disputas y hostilidades que encontró en los lugares en que estuvo, habla por sí mismo de un hombre y de sus ideas que no encontraban aceptación, quizá por lo novedoso y peligroso de las mismas. Después de haber enseñado en varias universidades europeas, donde la mayoría de ellas tenían encumbrada la

figura de Aristóteles, no se le toleró ni se le brindó una estancia prolongada en la cual pudiera enseñar, exponer o desarrollar más tranquilamente su filosofía.

Pese a lo anterior, el filósofo, habría continuado con sus escritos y reflexiones, llegando a postular ideas sobre cosmología asociadas al copernicanismo, que irían a influenciar en pensadores venideros.

De esta manera, y en el marco de la historia y filosofía de la ciencia, cabe cuestionarse cuáles fueron los postulados de Giordano, y qué fue lo que realmente lleva considerarlo un aporte para el avance del conocimiento científico.

Según Koyré (2006), Giordano Bruno, en la obra *La cena de le Ceneri* (es español, la cena de las cenizas), además de realizar una mayor discusión, refutación y objeción a los clásicos postulados aristotélicos-ptolemaicos que iban en contra de la Tierra en movimiento, defenderá la idea de que, la Tierra, es un planeta más entre los otros, y que sería parte de un universo infinito, es decir, de un lugar en donde no existe centro privilegiado. Con lo anterior, se puede percibir que, Giordano Bruno, tenía una idea semejante a la propuesta por Nicolás de Cusa, pero más completa.

Finalmente, Giordano, va a postular de que, la Tierra, no es el único planeta en donde existe vida, y que las estrellas, son como el Sol.

Con todo lo anterior, el filósofo, se habría apoyado en el copernicanismo para exponer y defender sus innovadoras ideas.

Giordano Bruno, estando en Alemania en 1590 en donde defendía sus ideas, recibe una invitación a Italia por el noble veneciano Giovanni Mocenigo, para que le enseñara sobre mnemotecnia (y lo más probable que magia también) por lo que Giordano era muy conocido en Europa. Ante la invitación, el filósofo acepta, puesto que, Venecia era un lugar en donde se comercializaban libremente sus textos, y además, era una excelente oportunidad para proponer una reforma que contemplara su filosofía, pues, el Obispo Ippolito Aldobrandini, quien habría sido conocido por ser condescendiente con los herejes y manifestar una cierta apertura a las nuevas ideas, recientemente, había sido electo como el nuevo Papa en Roma (CONTRERAS, 2014).

De esta manera, con el objetivo de ir a Venecia y luego a Roma, Giordano Bruno, viaja a Italia a finales de 1591, pero, lamentablemente, su estancia en terrenos venecianos sería muy breve, ya que, en el mes de mayo del año siguiente, Mocenigo, lo denuncia ante el Tribunal de la Santa Inquisición de la ciudad, indicando que, el filósofo acusado, es un mago que va en contra de los dogmas de fe, y por lo tanto, es un hereje.

Según Contreras (2014), el juicio a Giordano Bruno, comenzaría tres días después de su arresto en Venecia hasta febrero de 1593, en donde, por motivos que se desconocen, es trasladado a la Inquisición de Roma. Al haberse perdido las actas del proceso en Roma, existen grandes especulaciones sobre tortura, pues, la siguiente sesión de la que se tuvo noticia formal, sería 6 años más tarde de su arresto en Venecia.

Según Vinatea (2005), en la última sesión mencionada, es decir, en el año 1599, los miembros del Santo Oficio, explicitan un resumen de las 8 proposiciones, por las que Giordano debería abjurar:

9. El origen de las cosas y eternidad del mundo, en donde afirma que los principios reales y eternos de donde nacen todas las cosas, son el alma del mundo y la materia prima.

10. Dios, al ser infinito en poder, también debe haber creado un universo infinito. Asimismo, deben existir innumerables otros mundos, en donde existan cosas parecidas al nuestro, en género y en especie.
11. El alma individual, no preexiste al individuo, ésta sólo existe con su vida y después de su muerte. Este reconocimiento de la existencia individualizada post mortem, del alma humana personal, excluye su retorno al alma universal para una nueva animación.
12. En relación a la sustancia en el mundo, nada se engendra sin se corrompe.
13. La Tierra se mueve.
14. Los astros, también son ángeles, cuerpos animados y racionales que, en el cielo, revelan la gloria y el poder de Dios.
15. Atribución a la Tierra de un alma no solamente sensitiva, sino también, intelectiva como la nuestra, pues la tierra debe ser considerada como un animal racional que da muestras de inteligencia en el movimiento alrededor del sol y en torno al eje de sus polos.
16. El alma, no es una “forma”, sino que un espíritu que está en un cuerpo, como un habitante en su casa o un cautivo en su prisión.

Al respecto, Contreras (2014, p.14), indica:

Si bien la mayoría de las supuestas ocho proposiciones por las que el Nolano fue sentenciado son de orden cosmológico, también podemos decir que en ellas se encuentran algunos elementos que afectan los dogmas de la Iglesia Católica.

Es más, tal como indica Vinatea (2005), no sería “la causa” que llevaría a la venidera condena de Giordano, sino que varias. Estaban en juego aspectos filosóficos, teológicos y políticos, por lo que es difícil pensar cuál de ellos tuvo más influencia en la sentencia final, pero, sin duda, su muerte es el reflejo fiel de las tensiones políticas-religiosas que instaladas en el corazón de Europa, amenazaban a Francia, Inglaterra y España.

Volviendo a momentos previo a la sentencia final, aun cuando varias personas hablaron con Giordano para estimular su abnegación en torno a las proposiciones por las que siendo acusado, el filósofo, se mantiene consecuente a la afirmación de las mismas.

Por lo tanto, sobre este escenario, el 20 de enero de 1600, sin poder hacer que Giordano Bruno de Nola abjurara, el Papa Clemente VIII, ordenó que se promulgara la sentencia y se consignara al acusado al brazo secular⁵⁵, el cual, finalmente, condenaría y ejecutaría su muerte.

Así, tras 9 días en la cárcel secular, será trasladado al Campo de las Flores en la madrugada del 17 de febrero de 1600, en donde a sus 52 años, sería quemado vivo en la hoguera.

Asimismo, sus libros y escritos, son declarados heréticos, por lo que ordena quemarlos, e integrar sus nombres en el Índice. De esta manera, la mayor parte de su obra fue poco conocida hasta mediados del siglo XVIII, a excepción de unos cuantos raros ejemplares que circulaban de manera clandestina (CONTRERAS, 2014).

Un aspecto a destacar, es el hecho de que, una de las causas que aumentaría la sensibilidad de la Iglesia hacia el copernicanismo después de 1610, pudo ser en retraso en la percepción sobre las implicancias de los movimientos de la Tierra, las que habían sido

⁵⁵ El brazo secular de la Inquisición, correspondía a una **autoridad civil** que dictaba las sentencias y ejecutaba las condenas por indicación del Tribunal del Santo Oficio.

raramente explicitadas. En este sentido, es importante mencionar que, Giordano Bruno, no fue ejecutado por el copernicanismo, sino por una serie de herejías teológicas centradas en su visión de la Trinidad⁵⁶.

A propósito, cabe destacar que, la Iglesia, no condenaría al copernicanismo hasta 16 años después de la muerte de Bruno, en donde ponen al famoso libro *De revolutionibus*, en el Índice de los libros prohibidos.

De esta manera, Giordano, realmente, no fue un mártir de la ciencia como en diversos materiales educativos y de divulgación es señalado, sino que, de su libertad intelectual y convicción filosófica.

En la siguiente sección, abordaremos la vida y contribución del astrónomo Tycho Brahe que, aun viviendo en un periodo análogo al de Giordano Bruno, al parecer, no tuvieron encuentros presenciales. Aun así, en el caso que lo hubiesen tenido, lo más probable es que no llegasen a trabajar juntos, pues, sus filosofías y nociones cosmológicas, eran diferentes y antagónicas.

En esta sentido, algunos podrían preguntarse; entonces, qué sentido tiene abordar a Tycho Brahe, si su cosmología no iba en coherencia al de Giordano, y a la vez, a la de Copérnico.

Sin embargo, a partir de los próximos párrafos, podremos percibir que, Tycho Brahe, aun yendo en contra del copernicanismo, se transforma –indirectamente- en una persona que contribuye a su consolidación.

2. Vida y formación de Tycho Brahe

Tyge Ottesen Brahe, más conocido por su nombre latinizado como Tycho Brahe, nace el 14 de diciembre de 1548 en Escania, que en la época, era una provincia perteneciente a Dinamarca. Según Martins (2012), la historia de Brahe, comenzaría antes de su nacimiento, ya que, su padre Otto Brahe, aun cuando iba a tener a su primer hijo, había decidido entregarlo en adopción a su hermano George Brahe, quien si bien podía tener múltiples cosas materiales por causa de su riqueza, en lo afectivo y emocional tenía una gran carencia; no podía tener hijos. Sin embargo, cuando nació Tycho, tanto el padre y la madre de este, se arrepintieron y no cumplieron su promesa, lo cual, generó un gran malestar en George.

Un año más tarde, nace el primer hermano de Tycho, situación que irritó a su solitario tío, por lo que éste, dominado por sus impulsos, asume una inusual actitud: rapta a su sobrino Tycho Brahe.

Ante esta situación, los padres de este niño de un poco más de un año de edad, como ya tenían a otro hijo, deciden no continuar con los malos entendidos con George Brahe, por lo que ceden a que Tycho sea cuidado por su tío. De esta manera, el pequeño Brahe comenzó a experimentar una vida característica de nobleza; además de las posiciones materiales, tuvo la oportunidad de aprender latín, y su formación valórica y espiritual, era consolidada en ambientes luteranos.

2.1 Tycho y el eclipse solar de 1560: su motivación por la astronomía

El pequeño Tycho, a pesar de no sentir mayor atracción a los estudios, es “motivado” a ingresar a la Universidad Luterana de Copenhague a los 13 años, para iniciar estudios de filosofía y retórica. El desinterés existente por los estudios, llegaría hasta el 21 de agosto de

⁵⁶ La Trinidad, corresponde al dogma central de varias iglesias cristianas, que estipula que Dios es un ser único que existe como tres personas; Padre, Hijo, y Espíritu Santo.

1560, en donde al vivenciar un eclipse parcial de Sol ya pronosticado, despierta un gran motivación en Tycho por las cuestiones astronómicas, especialmente, por la de carácter predictivo.

Al cumplir 16 años, es enviado por su tío a la Universidad de Leipzig en Alemania, para continuar estudios de carácter jurídico. Sin embargo, este joven se había obsesionado con la astronomía, y la mayor parte del tiempo en la universidad, era dedicada a leer libros de astronomía, y por las noches, a realizar observaciones estelares.

2.2 El origen de los cuestionamientos de Brahe sobre las predicciones astronómicas

Un acontecimiento que influenciaría en gran medida las próximas reflexiones y acciones de Tycho Brahe, ocurrió el 24 de agosto de 1563, en donde la predicción sobre la conjunción planetaria entre Júpiter y Saturno, habían errado tanto en las tablas astronómicas Alfonsinas⁵⁷, como en las tablas elaboradas más tarde por Copérnico (MARTINS, 2012). Este hecho, promovería en Tycho, la decisión de producir tablas astronómicas mucho más exactas y sistemáticas de los planetas, por lo que comenzó a profundizar mucho más en el área, a partir de la lectura del Almagesto de Ptolomeo.

Su tío George Brahe, por problemas de salud, fallece cuando Tycho ya tenía 19 años, volviéndose así, único heredero de toda la fortuna.

En este momento, aun cuando su familia se opuso a que este continuase y se dedicase a los estudios astronómicos, Tycho, con los recursos heredados por su tío, sigue adelante con su propia formación, pudiendo dedicarse en totalidad a la astronomía y predicciones. En 1566, viaja a la universidad de Wittenberg en Alemania, en donde realizaría estudios sobre astrología, alquimia y medicina.

2.3 Tycho Brahe y la nueva estrella: rumbo a la revolución

Después de 4 años desde su llegada a Alemania, Tycho, quien había ampliado su bagaje cultural, regresa a Dinamarca, en donde comienza a trabajar en un área que había desviado su atención: la química.

Su nuevo interés no duraría por mucho tiempo, ya que, en este periodo, un hecho significativo influiría en las concepciones de Brahe y lo motivaría a focalizar –nuevamente- su atención a la astronomía.

El 11 de noviembre de 1572, mientras caminaba hacia casa desde su laboratorio de química, miró al cielo como lo hacía frecuentemente, y quedaría perplejo al observar un evento astronómico desconocido y “contra-natural”: una estrella muy brillante, nunca antes vista desde la Tierra, apareció en los cielos, y se quedó por aproximadamente, 18 meses. Hoy sabemos que tal estrella visualizada en ese periodo, fue una supernova de la constelación de Cassiopeia.

Este evento natural, iba en contra de la convicción y paradigma de la época, en torno a la perfección de los cielos y al de las estrellas fijas e inmutables, que había sido introducida por los griegos, por lo que, esta “nueva estrella” observada, “desmoronaba” las teorías de Platón, Aristóteles y Ptolomeo, en consecuencias, el de la Iglesia (MARTINS, 2012).

Sin embargo, Tycho Brahe, antes de convencerse de lo errado del pensamiento griego mencionado en el párrafo anterior, le surgió la duda si – realmente - ese cuerpo celeste estaba

⁵⁷ Estas tablas, fueron construidas a partir de la orden del rey Alfonso X de Castilla, quien había estado protegiendo y cultivando diferentes ámbitos del conocimiento como la historia, la poesía, la legislación y la ciencia. De esta manera, las tablas son llamadas de Alfonsinas en homenaje a él (Fernández, 2005)

en la esfera de las estrellas, o estaba en la atmósfera terrestre, en donde, según los griegos, las mudanzas podían ocurrir.

Para esto, Tycho acudió a utilizar un sextante de 1,6 metros que había construido en Alemania, en una escala de calibración mucho más precisa que cualquier otra construida hasta ese entonces, y con las nuevas observaciones, demostró que la nueva estrella observada, se movía mucho más lento que la Luna y los planetas en comparación a las estrellas, por lo que, esta estrella, estaba en la esfera de las estrellas (ver ilustración 4).

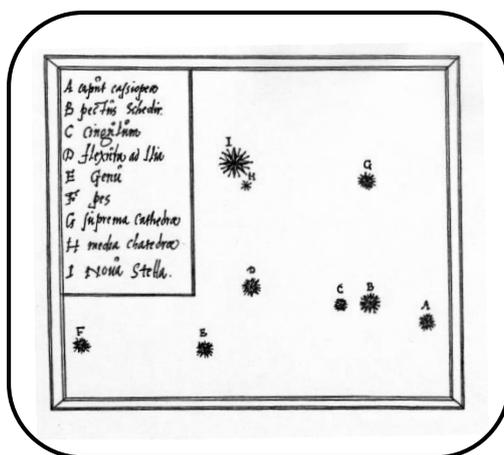


Ilustración 4 - Representación de la "nueva estrella" observado por Tycho Brahe

Fuente: <http://www.astro.lu.se/Tychos/NovaStella.jpg>

A partir de los datos evidenciados, Tycho, comienza a cuestionar las hipótesis heredadas de la cultura griega, ya que, si los antiguos sabios habían errado en uno de sus principales postulados, probablemente, también lo habrían hecho con otros.

De esta manera, como señala Zanetic (1995), Tycho, se habría propuesto corregir el paradigma aristotélico-ptolemaico dominante, pues aún seguía creyendo que, la Tierra, era el centro de un universo finito.

Cabe señalar que, el astrónomo, no sólo sería vulnerable a los cuestionamientos de la comunidad científica erudita de aquel entonces, sino que también, a los grandes influyentes y representantes religiosos, quienes respaldaban rotundamente la idea de la esfera celeste inmutable de Aristóteles. Sin embargo, para su bien, no correría la misma suerte de Giordano Bruno.

2.4 El castillo de los cielos: el espacio clave, para las observaciones astronómicas mejoradas de Brahe

Tycho, en 1568, debido al gran reconocimiento como erudito en el país, recibió el puesto de canónigo por parte del Rey Federico II, lo que lo liberaba de obligaciones religiosas, y podía dedicarse a los estudios por designación real. Así, Brahe, se mantuvo dando clases y realizando observaciones en Copenhague, hasta que, con el afán de mejorar aún más sus observaciones y discutir con otros astrónomos, había decidido mudarse para Alemania o Suiza. Esta decisión asumida, consiguió ser mudada, debido a que el Rey Federico II, para evitar que Tycho se fuera de Dinamarca, le ofrece una pequeña isla con inquilinos, en donde podría construir y equipar su propio observatorio.

Brahe, habiendo aceptado la oferta, construye el observatorio Uraniborg (el "castillo de los cielos") en la isla Hven, llamado así, en honor a Urania, la musa de la astronomía (MARTINS, 2012).

Esta gran estructura, estaba formada por observatorios, un laboratorio, una biblioteca, fábrica de papel, imprenta, y habitaciones para dormir, ya que este, se convirtió en un lugar en donde científicos, técnicos, y alumnos de muchos lugares, se juntaban para estudiar y discutir sobre temas de frontera en astronomía. Este fue un lugar estratégico, para medir las posiciones de los planetas con respecto a las estrellas fijas.

2.5 El cometa del año 1577: la evidencia esencial, para el origen de la construcción del modelo híbrido sobre el universo

El 13 de noviembre del año 1577, fue observado un cometa desde Europa. Este evento astronómico, también fue observado por Tycho desde su observatorio, cuyo hecho, le hizo recordar que, Aristóteles, decía que los cometas eran meteoros que viajaban entre la Tierra y la Luna, es decir, que estos se moverían-aproximadamente- en el mismo lugar en donde ocurren los fenómenos climáticos.

Sin embargo, Brahe, nuevamente refuta con evidencia la hipótesis Aristotélica, puesto que, al utilizar sus propios instrumentos, verifica que el cometa observado no presentaba paralaje, por lo que este cuerpo celeste, estaba mucho más lejos que la Luna.

En este contexto, la evidencia de la “nueva estrella”, en conjunto al dato astronómico sobre el cometa, estimularon el debate entre los seguidores de diversos pensadores; tanto de los defensores del sistema aristotélico-ptolemaico, como los que eran adeptos a los postulados de Copérnico (TOSSATO, 2004).

A partir de estos datos observacionales, Tycho Brahe, plantea las bases para una nueva teoría del movimiento planetario: un modelo híbrido del universo, el cual sería una versión alternativa a los sistemas aristotélico-ptolemaicos geocéntrico y al copernicano heliocéntrico.

Según señala TOSSATO (2004), en este nuevo modelo, la Luna y el Sol giran alrededor de la Tierra, mientras que, los otros planetas; Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno, lo hacen en torno del Sol (ver ilustración 5).

Asimismo, en la ilustración 6 se puede apreciar el modelo híbrido de Brahe, pero ahora, considerando la órbita del cometa, el cual está indicado con la letra “x”.

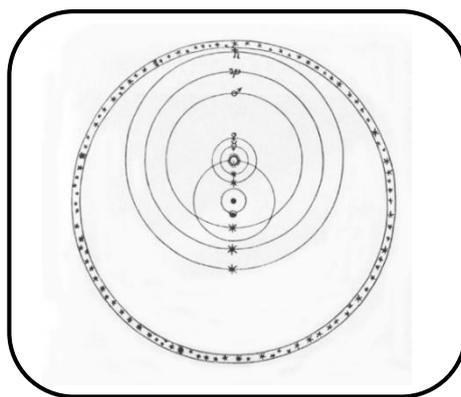


Ilustración 5- Representación del modelo híbrido de Tycho Brahe

Fuente: http://www.on.br/ead_2013/site/conteudo/cap7-historia/astrologia-renascenca/tycho-brahe/imagens/tycho1.jpg

que, las acusaciones por parte de Tycho, sólo fueron aceptadas parcialmente por la comunidad científica de la época, la cual, estaba dividida.

Según Tossato (2004), esta controversia duraría por años, y Ursus, en cada momento de acusación, se defendía. De hecho, en el año 1597, publica el libro *De astronomicis hypothesibus* (en español, acerca de las hipótesis astronómicas), en el cual, no solo defiende ser autor de las hipótesis, sino también, hace referencia a Brahe y sus seguidores desde una mirada peyorativa, mientras que Brahe, se refería a Ursus como un necio aprovechador.

Cuando la disputa intelectual entre estos astrónomos estaba en su máximo esplendor, Johannes Kepler, aparece ingenuamente, y se hace parte de esta. El momento y la forma en que Kepler se ve involucrado en esta historia, será descrito en la sección 3.3.

2.7 La importancia de los instrumentos utilizados por Brahe, para la construcción de conocimiento en astronomía y cosmología

Los trabajos realizados por Tycho, fueron clave para los estudios en astronomía y cosmología que vendrían luego de sus observaciones. De hecho, este hombre dinamarqués, es considerado como el mejor astrónomo observacional antes del invento del telescopio (CHATEL, 1990; ZANETIC, 1995; TOSSATO, 2010).

En este sentido, es de gran importancia poner en evidencia que, Tycho Brahe, no habría podido llegar a la precisión de sus observaciones, si no hubiese construido y/o mejorado los instrumentos observaciones astronómicas.

De esta forma, la técnica, en este periodo, además de cumplir un rol catalizador en la producción de conocimiento científico en el área, como señala TOSSATO (2010), fue una condición necesaria.

Desde esta premisa, vale destacar que, entre los instrumentos más importantes utilizados por Tycho, están el cuadrante y el sextante.

La funcionalidad del cuadrante, estaba focalizada a la medición de altura de un astro celeste con respecto al horizonte. En este caso, si bien ese instrumento tecnológico ya era conocido desde la antigüedad, este sería mejorado por Tycho al hacerlo más grande y preciso. El cuadrante, consistía en un cuarto de círculo dividido en grados (ver ilustración 7), el cual, con la finalidad de evitar las imprecisiones de las medidas en las observaciones por causa del movimiento inconsciente de las manos o por la acción del viento, es fijado en la muralla, recibiendo el nombre de “cuadrante de mural” (ver ilustración 8).

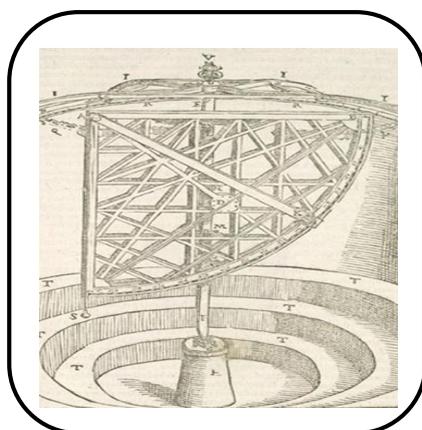


Ilustración 7 - Representación del cuadrante mejorado por Tycho Brahe
Fuente: <http://www.sil.si.edu/DigitalCollections/HST/Brahe/sil4-3-27a.htm>

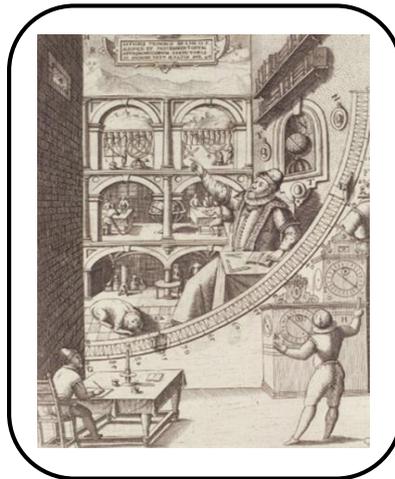


Ilustración 8 - Representación del cuadrante mural de Tycho Brahe
Fuente: <http://www.sil.si.edu/DigitalCollections/HST/Brahe/sil4-3-24a.htm>

Asimismo, y como se mencionó anteriormente, otro instrumento importante para obtener datos en las observaciones astronómicas, y que fue creado por el mismo Tycho Brahe, fue el sextante (ver ilustración 9). Este instrumento, que corresponde a un sexto de círculo, fue utilizado para identificar la posición de los astros en el cielo.

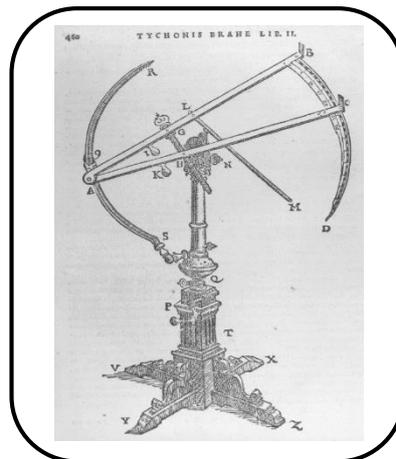


Ilustración 9 - Representación del sextante de Tycho Brahe
Fuente: <http://www.hps.cam.ac.uk/starry/tychobooks.html>

Lamentablemente, como señala Tossato (2010), los instrumentos que fueron contruidos y/o perfeccionados por Tycho, no han sido encontrados. Estos instrumentos, después de la muerte de Brahe, fueron vendidos por su yerno, al emperador Rudolfo II de Praga, quien sin saber qué hacer con estos, los deja en un galpón sin mayor cuidado, por lo que se convierten en simples fierros viejos.

Hoy, se sabe sobre el diseño de estos, por medio de la obra escrita por Brahe en 1598 *Astronomiae instauratae mechanica* (en español, *Renovación de la astronomía mecánica*), en donde el astrónomo presenta los detalles sobre la construcción y utilización de sus instrumentos de observación.

Tycho Brahe, habría obtenido medidas que poseían errores entre 1 a 4 minutos de arcos, es decir, de 3 a 12 milímetros cada 10 metros.

Entre otras observaciones, hizo un mapa muy preciso de las posiciones de 777 estrellas fijas y las posiciones angulares de los 5 planetas conocidos observados desde la Tierra antes del telescopio, cuya información, fue de extrema relevancia, para las contribuciones de Johannes Kepler.

2.8 Tycho Brahe y su invitación estratégica a Johannes Kepler: la colaboración catalizadora de una revolución astronómica

Brahe, fue un hombre que, debido a su buena condición socio-económica y a que había alcanzado gran reconocimiento como astrónomo observacional, por una parte, tuvo facilidad de conocer a varios astrónomos de Europa y, por otra, tuvo la oportunidad de comprar y leer las producciones de conocimiento científico que estaban siendo generadas en astronomía.

Una de las adquisiciones intelectuales que despertarían un gran interés en Tycho, sería el libro *Mysterium Cosmographicum* (en español, Misterio Cosmográfico), escrito por Kepler en el año 1596. Según MARTINS (2012), a partir de esta obra, Tycho Brahe, aun con algunos desacuerdos, se habría convencido de que, la única persona capaz de resolver una teoría matemática que permitiera validar su modelo planetario, sería Johannes Kepler, por lo que no dudó en planificar una invitación estratégica para Kepler, con intenciones de que este trabajara para él.

Por su parte, Johannes Kepler, quien consciente e intencionalmente había enviado su libro a Brahe, al recibir la invitación del astrónomo, vio una gran oportunidad, para tener acceso a los datos observacionales que este había conseguido durante años.

La invitación de Brahe a Kepler, y los detalles de su relación humana y científica, serán presentada en la sección 3.4.

3. Vida y formación de Johannes Kepler

Johannes Kepler, fue un hombre que nació el 27 de diciembre de 1571, en el seno de una humilde familia luterana, en la ciudad de Weilderstadt, Alemania (MARTINS, 2012).

Con lo anterior, podemos evidenciar que, Kepler, nace en un periodo en donde aún vivían Thomas Digges, Giordano Bruno y Tycho Brahe, por lo tanto, también enfrentaría un contexto socio-cultural análogo.

Su padre, Heinrich Kepler, fue un mercenario que raramente estaba en casa, mientras que su madre, Katharina Guldenmann, era curandera y herborista, quien en el transcurso de la vida de Kepler, sería acusada de brujería y quemada en la hoguera.

Kepler, desde su nacimiento, tuvo una compleja vida y salud. Al cumplir 4 años de edad, contrae viruela, cuya enfermedad afectó su vista para el resto de la vida. Asimismo, Martins (2012) señala que, Johannes, todo el tiempo estaba sufriendo de enfermedades que no cicatrizaban e infectaban, incluso durante su juventud y adultez.

Sin embargo, como señala Saffer (2014), a pesar de haber tenido una niñez llena de dolor, Kepler, había sido dotado intelectualmente, y a su corta edad, ya había aprendido latín, el que utilizaría para escribir sus trabajos posteriores.

Durante su niñez, su primera aproximación a los fenómenos astronómicos poco comunes, habría ocurrido cuando su madre, en el año 1577, lo llevó a un monte, para observar hacia el cielo un cometa, acontecimiento que nunca olvidaría (MARTINS, 2012). Cabe destacar que, el cometa observado por Kepler, fue el mismo que vio y estudió Tycho Brahe, y que se hizo referencia en la sección 2.5.

Johannes, en función a sus capacidades, consiguió una beca de la iglesia protestante destinada a chicos con recursos limitados que vivían en su provincia.

De esta manera, a los 13 años, ingresa a la escuela alemana Leonbarg, en donde por su particular capacidad, rápidamente llama la atención de sus profesores, quienes lo recomiendan para ser parte del seminario protestante en Maulbronn, en donde sería educado en el uso de “armas teológicas” contra la fortaleza del catolicismo romano. Asimismo, en ese lugar, aun reforzaba sus estudios en latín, y aprendía griego, retórica, música, siempre mantenía como referencia la Biblia (MARTINS, 2012).

En el monasterio, Johannes, aun cuando tuvo varias disciplinas difíciles, destacó en todas ellas, cuya base intelectual y reconocimiento, le permitió matricularse en la universidad de Tubinga, Alemania.

3.1 Kepler y su formación integral: lo divino y lo racional condicionan su pensamiento

En la universidad de Tubinga, estudia teología, filosofía, matemática y astronomía, y se hace ferviente partidario de la controvertida teoría heliocéntrica copernicana, tras que su profesor (y futuro amigo), el matemático y astrónomo Michael Maestlin (1550 – 1631), le diera a conocer el trabajo de Nicolás Copérnico (MARTINS, 2012; SAFFER, 2014).

Aunque su objetivo era convertirse en sacerdote, en el año 1594, no pudo resistirse a una oportunidad para ser docente de matemáticas y astronomía, en la universidad luterana de Graz, Austria (KOESTLER, 1989). No obstante, si bien Johannes dejaría su carrera sacerdotal para dedicarse al estudio de la ciencia, nunca dejaría de ser un hombre religioso y creer que, la armonía matemática del universo, era una manifestación divina.

En el momento que vivía Kepler, no existía una gran diferenciación entre la astronomía y la ambigua astrología. En este contexto, Johannes, además de realizar clases como matemático en Graz, tuvo que componer un calendario astrológico completo anual con predicciones. Como señala Saffer (2014), al predecir con éxito un invierno extraordinariamente frío y una incursión de los curcos, Kepler, fue triunfalmente reconocido como gran astrólogo. Sin embargo, a pesar de ese clamor colectivo, nunca sintió mucho respeto por este trabajo, ya que, para él, gran parte de los aciertos que tenían los astrólogos, se debían atribuir a la suerte. Aun así, Johannes, por motivos financieros, nunca dejó de acudir a la astrología en su vida (KOESTLER, 1959).

3.2 El misterio del cosmos según Kepler, desde una justificación en la geometría

Johannes, con el afán de perfeccionar la teoría heliocéntrica, inspirado por los pitagóricos al igual que Copérnico, se obsesiona con el problema de encontrar un esquema numérico, para el sistema planetario. Kepler, buscaba las razones del porqué de la existencia de sólo 6 planetas (incluida la Tierra), y también, el porqué del espaciado entre estos. Sobre esta constante interrogante, comenzó a sospechar que la respuesta debía estar en la geometría (COHEN, 1967; KOESTLER, 1959).

Según Zanetic (1995), fue así que, Kepler, en el año 1595, mientras daba una lección de geometría en Graz, tuvo una súbita revelación, la cual, lo llevaría a un viaje intelectual que, de alguna manera, cambiaría el curso de su vida. En el pizarrón, dibujó un círculo con un triángulo equilátero en su interior, y otro círculo dentro del triángulo, y pensó que, la razón entre los círculos, podría estar asociada a la razón de las órbitas de Saturno y Júpiter. Inspirado por esta revelación, supone que, los seis planetas conocidos, estaban dispuestos

alrededor del sol de tal manera que, ciertas figuras geométricas, se podrían ajustar perfectamente entre estos cuerpos celestes (KOESTLER, 1959).

De esta manera, inició la comprobación de su hipótesis utilizando figuras planas bidimensionales, pero no dio resultado. Así, no fue hasta que decidió utilizar los 5 poliedros regulares o sólidos “platónicos” (ver ilustración 10), que pudo “comprobar” su hipótesis.

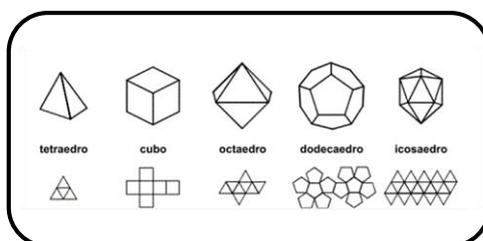


Ilustración 10 - Representación de los 5 sólidos “platónicos”

Fuente: <http://fomi.forumeiros.com/t414-exercicio-para-desenvolvimento-da-visualizacao>

Según Martins (2015), a partir de estos poliedros, Kepler, estudió las relaciones las dimensiones de la esferas circunscritas e inscritas en poliedros, hasta mostrar que, la distancia de los planetas al Sol, según el sistema de Copérnico, están asociadas a las relaciones geométricas de esferas separadas por los poliedros regulares.

Así, tras varias combinaciones, pudo llegar a la siguiente relación:

La esfera del octaedro, separa a Mercurio y Venus; la del icosaedro, separa Venus y la Tierra; la del dodecaedro, separa a la Tierra de Marte; la del tetraedro, separa a Marte y a Júpiter y, finalmente, la del cubo, separa a Júpiter de Saturno.

Con todo lo anterior, Kepler, pudo comprender la razón de haber solamente 6 planetas con 5 espacios entre estos, como también, el porqué de sus separaciones no uniformes (ver ilustraciones 11 y 12).

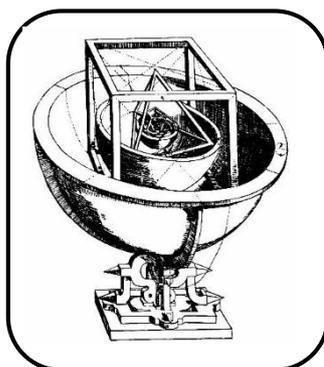


Ilustración 11 - Representación kepleriana sobre la configuración planetaria a partir de los sólidos “platónicos”

Fuente: <http://www.ghtc.usp.br/server/Sites-HF/Marcelo-Zimbres/leis.html>

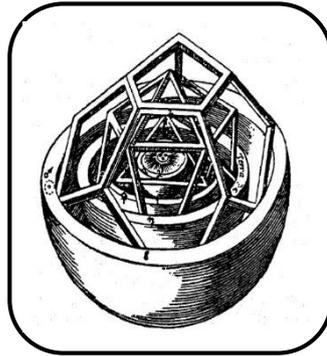


Ilustración 12 - Representación de las esferas de arte, Tierra, Venus, Mercurio, y el Sol en el centro

Fuente: extraído de KOESTLER, 1959, p. 251

Esta explicación de sólidos “platónicos” relacionada a las órbitas y distancias planetarias, lo motivó a escribir el libro *Mysterium Cosmographicum*, el que tardaría un año en redactarlo, y que se publicaría en 1596. Esta producción, marcaría definitivamente su carrera profesional venidera, la que será descrita en la siguiente sección.

3.3 La primera obra astronómica-matemática de Kepler y su divulgación estratégica: una decisión dubitativa, pero exitosa en torno a sus objetivos

Kepler, con 27 años, tras haber escrito su primer libro, y con la finalidad de promover un mayor reconocimiento de su revolucionaria obra, envía ejemplares para los astrónomos más destacados de la época, entre los cuales estaban Tycho Brahe y Ursus, pero también envía una copia a Italia para Galileo Galilei, quien recién consolidaba su carrera en esa época en la universidad de Padua (KOESTLER, 1959; TOSSATO, 2004; SAFFER, 2014).

A modo de comentario, cabe indicar que, la percepción y reconocimiento de la obra por Galileo, le será entregada por medio de una carta a Kepler, quien le responderá inmediatamente al enterarse que el italiano había estado trabajando silenciosamente en reflexiones a favor del copernicanismo.

Si bien este intercambio de cartas será abordado en la sección 4.3, es importante la aclaración de que, Galileo, al interpretar una alusión de cobardía hacia su persona por trabajar en silencio a favor de Copérnico, se molestaría y se negaría a responder a las peticiones de divulgación de Kepler.

Por otra parte, según Tossato (2004), el joven Johannes Kepler, con el ánimo de tener una buena recepción por parte de los otros intelectuales, escribe y adula a todos con frases, tales como; “príncipe de los matemáticos”, “fénix de los astrónomos”, etc. Sin embargo, Kepler, al no conocer la controversia de autoría del modelo planetario híbrido existente entre Ursus y Brahe, casi pierda la oportunidad de trabajar con este último, cuando este se enteró de la carta en donde elogiaba a Ursus. Tycho Brahe, estaba muy molesto por la actitud Kepler.

No obstante, Brahe, en consideración a que ya había leído el libro *Mysterium Cosmographicum*, estaba consciente de que, el joven Kepler, era la única persona de la época capaz de ordenar sus datos colectados durante años, y matematizar su modelo híbrido del universo, cosa que él no había podido lograr (TOSSATO, 2004).

3.4 Johannes Kepler y la carta enviada por Tycho Brahe el 9 de diciembre de 1599

Siguiendo con el hilo conductor de la sección anterior, Tycho Brahe, tuvo un gran interés en que, Kepler, trabajara para él como asistente en su castillo en Praga. De esta forma, Brahe, envía una carta a Kepler el 9 de diciembre de 1599, en donde además de hacer una crítica constructiva a la metodología usada para la elaboración modelo de sólidos perfectos, realiza una invitación para que trabajara con él en Praga (TOSSATO, 2004; SAFFER, 2014).

Al respecto, cabe destacar dos cosas:

1. Cuando la carta enviada por Brahe llega a Graz, Kepler, tras una persecución por parte del príncipe Fernando II al protestantismo, había dejado su cargo como profesor en la universidad, y había decidido ir en búsqueda de Brahe. De esta forma, Kepler, no habría visto la carta hasta meses después.
2. Antes de la carta del 9 de diciembre, Brahe, ya había escrito a Kepler y a Maestlin, comentado el libro *Mysterium Cosmographicum* (TOSSATO, 2004). Según Koyré (2006), tales comentarios, eran diferentes, pues, mientras que a Kepler indicaba la genialidad de su propuesta sobre los sólidos perfectos y que sólo habría que sumar algunas consideraciones, para Maestlin, señalaba que, si bien Kepler tenía una sorprendente capacidad intelectual, estaba lejos de haber generado un modelo acorde a la realidad, ya que, no era en base a hechos y observaciones que se pudieran testear. Por lo tanto, queda en evidencia que, la relación de Brahe con Kepler, era de carácter estratégico.

El momento del gran encuentro en Praga, sería en enero de 1600, cuando Kepler tenía 28 años y Brahe 53 años. A modo de comentario, en ese mismo momento en Italia, a Giordano Bruno, le quedaban pocos días de vida.

Johannes, en el encuentro en Praga con Brahe, percibe que, si bien había elementos en común entre los dos, como el interés por la astronomía y el luteranismo, también había evidentes diferencias, tales como, el nivel socio-económico y la personalidad.

Sin embargo, aun cuando Kepler estaba consciente de que su relación con Brahe no sería fácil, acepta trabajar para este impaciente y ambicioso aristócrata, pues, como ya se hizo referencia, era una muy buena oportunidad para tener acceso a los valiosos datos del reconocido astrónomo (TOSSATO, 2004; MARTINS, 2012; SAFFER, 2014).

Fue así que, Tycho Brahe, encomienda la primera misión a Kepler: estudiar la órbita del planeta Marte, cuerpo celeste que, al tener una órbita poco "circular", tenía confundido al astrónomo danés (MARTINS, 2012; SAFFER, 2014).

Durante el periodo de colaboración que, según Tossato (2004), habría sido cerca de 18 meses, Brahe, iba entregando poco a poco algunos datos a Kepler, lo que provocaba constantes molestias a este, pues, estaba ansioso de utilizar más datos para justificar el copernicanismo.

Sin embargo, el panorama cambiaría totalmente en el año 1601, ya que, tras el fallecimiento de Tycho Brahe, Kepler, sería el gran heredero de los datos y tablas compiladas por el astrónomo durante años (ZANETIC, 1995).

Tras la muerte de Brahe, el rey Rodolfo II, declara a Kepler como sucesor Tycho, es decir, matemático imperial en Praga (KOESTLER, 1959).

A modo de observación, antes de comenzar a describir sobre qué haría Kepler con los datos de Brahe, es muy importante destacar que, no fueron solamente los rigurosos datos observacionales del astrónomo que contribuirían en la venidera ley de los movimientos planetarios que se abordarán entre las secciones 3.8 y 3.9, sino que también, el método. Este punto, es muy importante, puesto que, a partir de la crítica realizada por Brahe en la carta de

1599 sobre la metodología, Kepler, en sus reflexiones y obras venideras, no sólo incluirá aspectos teórico-matemáticos, sino que también, empíricos.

3.5 Kepler legitima los datos observacionales astronómico de Brahe y cuestiona la propuesta copernicana

Como en algún momento se hizo alusión, Brahe, había encomendado a Kepler a estudiar el comportamiento del “extraño” planeta Marte. Después de la muerte de Brahe, el problema que para Kepler no había sido tan relevante, se tornó una cuestión de estudio durante varios años.

Fue así que, aun cuando le interesa conocer más sobre las órbitas de todos los planetas, prestaría una mayor atención a Marte, por disponer de mucha más información.

Asimismo, cabe destacar que, Kepler, tras varios intentos de ajustes, se habría convencido que, la respuesta a su problema, no estaba en ajustar los datos de los cuales disponía al modelo de Brahe.

Sobre este escenario, Kepler, decide acomodar sus datos y los de Brahe al modelo copernicano, por lo que la búsqueda de órbitas “circulares”, sería a partir de la utilización de excéntricos y deferentes.

Al respecto, cabe hacer dos comentarios relevantes:

1. Tal como hace referencia Zanetic (1995), la persistencia de la hegemonía del círculo y de la esfera permanecía en el pensamiento kepleriano, durante el estudio de Marte, se torna un obstáculo epistemológico.
2. Kepler, aun cuando se basa en la propuesta de Copérnico, decide no utilizar epiciclos para sus explicaciones, pues, como se abordará en la siguiente sección, habría sido influenciado por la obra intelectual sobre magnetismo y movimientos celestes de William Gilbert, adoptando la idea de que un cuerpo, no podría girar en torno de un punto geométrico vacío.

Johannes Kepler, en el proceso de acomodación de teoría copernicana y datos brahianos, no habría conseguido la compatibilidad que buscaba en el planeta Marte, pues, entre las predicciones y las observaciones, existían diferencias de hasta 8 minutos de arco.

En ese contexto, tenía dos opciones; oponerse a los datos brahianos o refutar el modelo teórico de Copérnico.

Kepler, quien estaba convencido de que Brahe no pudo haber cometido errores tan grandes en sus observaciones, cree en la necesidad de realizar modificaciones en la teoría, las que se concretarán en las siguientes secciones.

3.6 Kepler comienza a estudiar la órbita terrestre

En un marco de inquietudes e incertezas, Kepler, también había percibido que, las distancias entre la Tierra y Marte variaban mucho, y cuando Marte estaba muy cercano a la Tierra, cualquier error de predicción, llevaba a grandes diferencias observacionales (MARTINS, 2015).

En este escenario, y tras no haber podido explicar el movimiento de Marte, comienza a sospechar que, la respuesta, podría estar en el movimiento orbital de la Tierra.

Para esto, Kepler, comienza a utilizar los datos brahianos en intervalos de tiempo que corresponderían al periodo del movimiento de Marte (687 días), ya que, de este modo, en cada observación, al estar Marte en el mismo lugar, se favorecerían las condiciones para determinar la posición de la Tierra.

Con todo lo anterior, Kepler, llegó a considerar que era posible explicar bien los datos, si se suponía que, la órbita terrestre, era excéntrica con respecto al Sol. No obstante, la velocidad de la Tierra en ese “círculo”, no podía ser constante, puesto que, era mayor cuando estaba más cerca del Sol.

De esta manera, habrían nuevas interrogantes para Kepler: ¿por qué el movimiento de la Tierra alrededor del Sol no es uniforme? y ¿por qué la Tierra se mueve más rápido cuando está más cerca del Sol en comparación a cuando está más lejos?

El razonamiento kepleriano frente a estas cuestiones, sólo será socializado en la sección 3.8, puesto que, con la finalidad de comprender mejor el proceso construcción del conocimiento científico, en la siguiente sección, abordaremos la obra intelectual de un hombre que influenciaría en las reflexiones de Kepler en torno del universo.

3.7 La influencia de William Gilbert en las ideas de Johannes Kepler: una aproximación a la concepción de gravedad newtoniana

En el año 1600, el filósofo y médico inglés, William Gilbert (1540-1603), publica su principal obra intelectual sobre el magnetismo, en su libro titulado *De magnetete, magneticisque corporibus, et de magno magnetete tellure* (en español, Sobre los imanes, los cuerpos magnéticos y el gran imán terrestre), el cual, influirá en el pensamiento de varios intelectuales de la época, en donde se encontrará Kepler.

En relación a la contribución de Gilbert, cabe destacar lo explicitado por Zanetic (1995, p.98):

Por analogía con experimentos que realizó con imanes perfectos, Gilbert, imagino que, el motor básico que comendaba al sistema solar, era de origen magnético. Llegó a pensar a la propia Tierra constituyendo un gigantesco imán que atraía a todos los cuerpos a su alrededor. Esa gravedad magnética, se propagaría por el espacio de afuera, actuando sobre todo, en el sistema solar.

En complemento a lo anterior, Gilbert, creía lo siguiente:

1. Todo cuerpo que cae a la Tierra, va acompañar a la rotación de ésta, porque es arrastrado por las fuerzas de cohesión de la Tierra.
2. La esfera de influencia de los imanes, comienza a desaparecer con la distancia, por lo tanto, la influencia de la Tierra, también sería menor par cuerpo distantes.
3. La Luna se mueve alrededor de la Tierra por causa de la fuerza magnética terrestre, pero, al estar muy distante de esta, no se puede mover con la misma velocidad de rotación.
4. Los planetas son movidos por causa del Sol.

El conjunto de ideas anteriores, son muy interesantes y relevantes para la historia de la ciencia de la época, puesto que, al influenciar el pensamiento de Kepler, no sólo auxiliarían la búsqueda de respuestas para las inquietudes de éste, sino que, también ofrecían condiciones para el desarrollo de la noción de gravedad, la cual, sólo se iría a concretar con Newton.

Sin embargo, es destacar el hecho de que, Kepler, en su *Astronomia Nova* explicitará una reflexión que permite identificar su nueva forma de pensar:

Luego, es claro que, la doctrina tradicional acerca de la gravedad, está errada [...] La gravedad es la tendencia corpórea mutua entre cuerpos cognados

(esto es, materiales) para la unidad o contacto de cuya especie también es la fuerza magnética, de modo que, la Tierra, atrae a una piedra mucho más de lo que una piedra atrae a la Tierra [...] Suponiendo que la Tierra estuviese en el centro del mundo, los cuerpos pesados serían atraídos, no porque ella está en el centro, sino que, por ser un cuerpo cognado (material). Se sigue que, independientemente de donde coloquemos a la Tierra [...] los cuerpos pesados han de buscarla siempre [...] Se dos piedras fuesen colocadas en cualquier lugar del espacio, una cerca de la otra y fuera del alcance de la fuerza de un tercer cuerpo cognado, en seguida, se unirían como lo cuerpos magnéticos, en un punto intermedio, aproximándose cada una a la otra en proporción a la masa de la otra.

Si la Tierra y la Luna no estuviesen mantenidas en las respectivas órbitas por una fuerza espiritual o cualquier otra fuerza equivalente, a Tierra subiría en dirección a la Luna un cincuenta y cuatro avos de la distancia, cabiendo a la Luna bajar las restantes cincuenta y tres partes del intervalo, y así se unirían. Pero, el cálculo presupone que los dos cuerpos son de la misma densidad. Si la Tierra cesase de atraer las aguas del mar, los mares se elevarían e irían a la Luna [...] Si la fuerza de atracción de la Luna llega a la Tierra, se sigue que la fuerza de atracción de la Tierra, con mayor razón, va hasta la Luna y aún más lejos [...] Nada de lo que es hecho de sustancia terrestre es completamente liviano; pero, la materia menos densa, ya sea por naturaleza o por el calor, es relativamente más liviano [...] De la definición de ligereza, lo sigue su movimiento, pues, no debemos creer que, una vez levantada, escape para la periferia del mundo, o que no sea atraída por la Tierra. Es simplemente menos atraída que la materia pesada, y, por lo tanto, desplazada por la materia más pesada, de modo que viene a quedar en reposo y es mantenida en el lugar por la Tierra [KEPLER cit. KOESTLER, 1989, p.338, traducción nuestra]

Considerando todo lo anterior, en la siguiente sección, se podrá evidenciar cómo Kepler utiliza los postulados de Gilbert, para dar respuesta a su problemática de la órbita planetaria terrestre.

3.8 El problema de la órbita terrestre en torno al sol y la primera aproximación a la ley de las áreas de Kepler

Como ya mencionamos, Kepler, habiendo leído y adoptado las ideas de Gilbert, además de tener una primera aproximación a la noción de gravedad de Newton, tendría una “respuesta” preliminar, para algunos de sus cuestionamientos que habrían venido en sus estudios tras la muerte de Brahe, y que serían las catalizadoras de sus venideras leyes planetarias.

En la sección 3.6, pusimos en evidencia que, las inquietudes keplerianas, ahora estarían focalizadas al porqué del movimiento no uniforme de la Tierra alrededor del Sol, y al porqué del aumento de velocidad de la Tierra cuando está más cerca del Sol en comparación a cuando está más lejos.

Para dar una explicación a sus interrogantes, Johannes Kepler, imaginó que el Sol, movía a la Tierra a través de una fuerza magnética. Pensó que, los rayos luminosos que salen del Sol, giran con éste de tal manera que, la Tierra, sería arrastrada (ver ilustración 13).

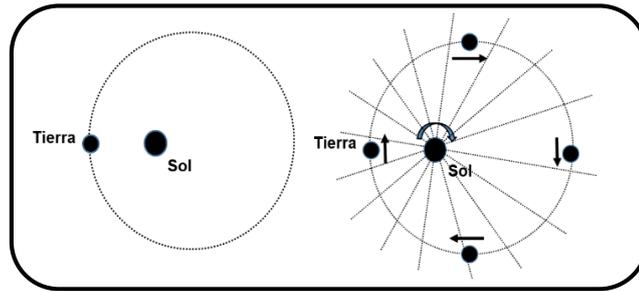


Ilustración 13 - Representación kepleriana sobre el movimiento terrestre con respecto al Sol, en una órbita "circular" excéntrica
Fuente: elaborado por el autor

Asimismo, Kepler interpretaría que, la Tierra en movimiento alrededor del Sol, al tener una velocidad angular que es inversamente proporcional a su distancia con respecto al astro mencionado, provocaría que, la línea imaginaria que los conecta, barre áreas iguales en tiempos iguales (ver ilustración 14).

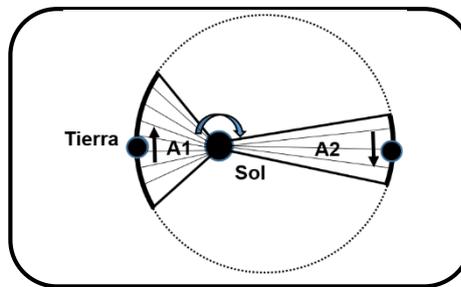


Ilustración 14 - Representación kepleriana sobre la variación de velocidad angular de la Tierra con respecto al Sol
Fuente: elaborado por el autor

Al leer los párrafos anteriores, podríamos pensar que, Kepler, habría llegado a la ley de las áreas, sin la necesidad de abandonar la herencia platónica en relación al círculo. Sin embargo, no fue así, pues, la utilización del círculo, generaba grandes discrepancias con los datos de Tycho Brahe.

De esta manera, y como se podrá percibir en la siguiente sección, la ley de las áreas, sólo se vuelve ley, tras el tránsito del axioma platónico a la adopción de la elipse (KOESTLER, 1989; TOSSATO, 2003).

3.9 La ruptura de la hegemonía del círculo y la consolidación de las dos primeras leyes de Kepler

Tras la obtención de la "ley de las áreas", Kepler, pensó que los mismos principios que había aplicado para la Tierra, podrían resultar para el planeta Marte.

Sin embargo, al aplicarla a Marte, se mantenían las incompatibilidades entre la predicción y la observación.

Sobre este escenario, tras continuas y profundas reflexiones, llega a pensar que la respuesta a la problemática, debía estar en la verdadera forma de la órbita planetaria.

De esta manera, Kepler, en el año 1604, comienza a trabajar en la crítica de la órbita "circular", formulando nuevas hipótesis sobre el tipo de curva de las órbitas (TOSSATO, 2003).

Así, no sería hasta el año 1605, en donde Kepler habría encontrado su anhelada respuesta en torno a la forma de las órbitas planetarias:

La conclusión – sencillamente – es que, el camino del planeta, no es un círculo, pues se curva hacia dentro en ambos lados y hacia fuera de nuevo en los extremos. Tal curva es llamada de óvalo. La órbita no es un círculo, sino una figura oval. (KEPLER cit. KOESTLER, 1989, p.329, traducción nuestra).

A partir de la adopción anterior, Kepler, habría intentado ajustar los datos de Marte a diferentes formas ovales, hasta que - por fin – decidió utilizar una órbita elíptica, con el Sol en uno de sus focos.

Lo evidenciado, fue sorprendente, ya que, asumiendo la elipse como la forma de la órbita y utilizando “ley de las áreas”, los movimientos en predicción, llegaron a concordar muy bien con las observaciones de Brahe.

Al respecto, Cohen (1987, p.146), menciona lo siguiente:

[...] Kepler, por fin dio el paso revolucionario de refutar completamente los círculos, experimentando una oval, e finalmente una elipse. Para apreciar cuán revolucionario era en realidad ese paso, recordémonos de que tanto Aristóteles como Platón insistieron en que las órbitas planetarias tenían que ser combinadas a partir de círculos, y que este principio era lugar común, tanto en el *Almagesto* de Ptolomeo, como en el *De revolutionibus* de Copérnico (traducción nuestra).

En este contexto, Kepler, tras años de arduo trabajo intelectual, en el año 1609, publica su obra dedicada al emperador Rudolfo II, la que era titulada *Astronomia Nova* (en español, Nueva astronomía), en la cual, expondrá el desarrollo cronológico de su investigación, destacando no sólo el producto final, sino que también, los procedimientos y etapas que tuvo que pasar hasta obtener las dos primeras leyes de los movimientos planetarios (TOSSATO, 2003).

Cabe poner en evidencia que, Johannes Kepler, en su obra recién aludida, no utiliza un orden cronológico para sus dos primeras leyes:

En la primera ley, indicará que, las órbitas de los planetas son elipses, con el Sol localizado en uno de sus focos (ver ilustración 15).

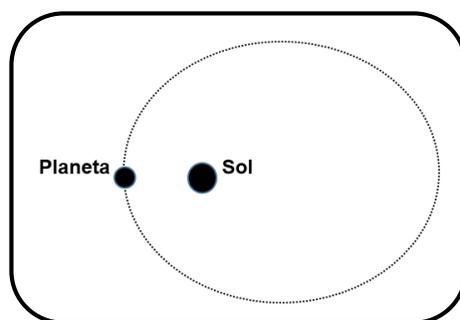


Ilustración 15 - Representación kepleriana de un planeta en una órbita elíptica alrededor del Sol

Fuente: elaborado por el autor

En su segunda ley, retoma un antiguo postulado, pero ahora, siendo requisito la primera ley. De esta forma, afirma que la línea (imaginaria) que une el planeta con el Sol, barre áreas iguales en tiempos iguales (ver ilustración 16).

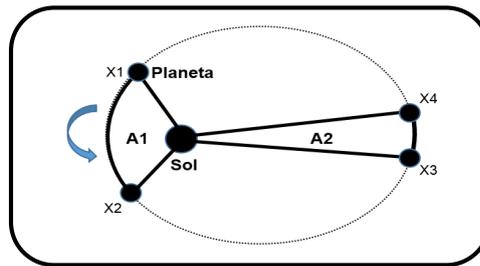


Ilustración 16 - En un mismo intervalo de tiempo, el área barrida A1 por un planeta alrededor del Sol, es igual al área barrida A2 por el mismo planeta
Fuente: elaborado por el autor

Finalmente, es necesario mencionar que, con las contribuciones anteriores, Kepler, presentaba un sistema planetario muy semejante al que se acepta hoy, el cual, es mucho más exacto y simple del que proponía el sistema copernicano (COHEN, 1967).

Con el simple ánimo de no estimular mayores dudas al lector, en la siguiente sección, se abrirá un breve paréntesis sobre la elipse, para luego, continuar con la siguiente gran contribución kepleriana, su tercera ley planetaria.

3.10 La elipse, la figura geométrica que desplazó la herencia griega sobre el idealismo circular

En la sección anterior, mencionamos que, Kepler, tras años de reflexiones en torno a la forma de las órbitas planetarias y los datos brahianos, había llegado a postular que, la respuesta en torno a la concordancia entre predicciones y datos observacionales astronómicos, sólo se podría encontrar si se reemplazaba el círculo por la elipse.

A propósito, ¿qué conocimiento se debe tener sobre esta figura geométrica?

La elipse, es una línea curva, cerrada y plana que forma parte de las curvas cónicas, por lo que su estudio, no era incipiente a la época de Kepler, pues, ya había sido objeto de estudio por los matemáticos de la Grecia Antigua.

Al trabajar con una elipse, se pueden hacer bastantes cálculos, pero como no es el objetivo del presente, sólo se hará alusión visual a elementos básicos, para comprender el lenguaje usado por Johannes Kepler.

Al visualizar la ilustración 17, podemos evidenciar los siguientes elementos de la elipse: focos (f_1 y f_2), semi-eje mayor (a), semi-eje menor (b), semi-distancia focal (c).

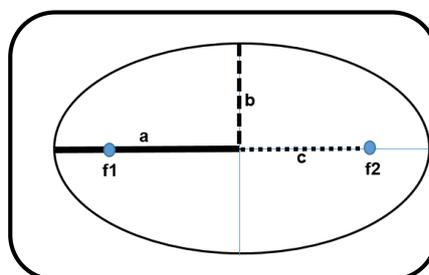


Ilustración 17 - Representación de la elipse, con algunos de sus elementos
Fuente: elaborado por el autor

Lo anterior, es relevante pues –comúnmente- cuando se trabaja con elipses, es utilizado el concepto de excentricidad (e), la cual, es obtenida de la razón entre la semi-

distancia focal y el semi-eje mayor, es decir, $e = c/a$. Al respecto, y para comprender mejor el concepto, se podría decir que, la excentricidad, representa el grado de “achatamiento de la curva”.

Finalmente, tomando en cuenta lo anterior, cabe realizar 2 observaciones:

1. La excentricidad de la elipse, varía entre valores que van del 0 a 1, por lo que existen elipses que son prácticamente un círculo. Es importante mencionar esto, pues, generalmente, en diversos libros de física, astronomía o didácticos de física, aparecen elipses con excentricidad muy grande, lo cual, es una exageración pensando que, el planeta del Sistema Solar que presenta la mayor “e” es Mercurio, con un valor de $e = 0,206$, y luego, lo sigue Marte con $e = 0,093$.
2. Al señalar que sólo los elementos destacados en la ilustración 17 son los importantes al abordar las leyes planetarias de Kepler, no pretendemos trascender la idea de que los docentes de física o astronomía no deban tener un dominio mayor sobre la figura geométrica. A propósito, con la finalidad de recordar o aprender sobre la elipse, se recomienda ingresar al siguiente sitio web: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/kepler.html#c4>

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, y como ya hicimos referencia, en la siguiente sección, abordaremos la última ley planetaria de Kepler, la que, tal como se percibirá, constituye un pilar fundamental, para el razonamiento newtoniano sobre gravitación universal.

3.11 La armonía del mundo de Kepler, es encontrada en su tercera ley planetaria

Kepler, después de su publicación en 1609, e influenciado por su idealismo en torno a la armonía cósmica, comenzó a trabajar en torno a otra situación problemática en relación a los cuerpos celestes: ¿cuál será la relación entre la distancia de un planeta al Sol y el tiempo que demora en dar una vuelta alrededor de este astro?

Para comprender las deducciones de Kepler ante su problema, se utilizará la descripción usada por Cohen (1967).

En primer lugar, se utiliza una tabla con valores de distancias medias al Sol y periodos de revolución, de cada uno de los planetas “descubiertos” hasta la época de Kepler, como se visualiza en la tabla 1.

	Mercurio	Venus	Tierra	Marte	Júpiter	Saturno
Tiempo de una revolución ,T (en años)	0,24	0,615	1,00	1,88	11,68	29,457
Distancia media al Sol, D (en unidades astronómicas)	0,387	0,723	1,00	1,524	5,203	9,539

Tabla 4 - Relación entre el tiempo de una revolución planetaria v/s distancia media al Sol

Fuente: adaptado de COHEN, 1967, p. 148.

A partir de los datos evidenciados en la tabla, Kepler, no habría percibido ni una relación entre las variables T y D, por lo que habría decidido probar qué pasaría si utilizaba los cuadrados de esos valores, o sea, T^2 y D^2 , cuya nueva tabulación, se visualiza a continuación (tabla 2):

	Mercurio	Venus	Tierra	Marte	Júpiter	Saturno
T ²	0,058	0,38	1,00	3,54	140	868
D ²	0,147	0,528	1,00	2,323	27,071	90,792

Tabla 5 - Relación entre el cuadrado del tiempo de una revolución planetaria v/s el cuadrado de la distancia media al Sol

Fuente: adaptado de COHEN, 1967, p. 149.

Con la información evidenciada, tampoco se podía discernir ni una relación entre las variables. Asimismo, al intentar con T² y D, o, T y D², tampoco lo habría conseguido.

No obstante, su convencimiento sobre la relación entre estas, era tal que, nunca desistió.

Su próximo intento, fue utilizar la siguiente potencia, es decir, T³ y D³. En esta tentativa, si bien no encontraría nada nuevo para T³, no ocurría lo mismo para D³, puesto que, tal como muestra la tabla 3, encontraría una relación con lo evidenciado en T².

	Mercurio	Venus	Tierra	Marte	Júpiter	Saturno
T ²	0,058	0,38	1,00	3,54	140	868
D ³	0,058	0,38	1,00	3,54	140	868

Tabla 6 - Relación entre el cuadrado del tiempo de una revolución planetaria v/s el cubo de la distancia media al Sol

Fuente: adaptado de COHEN, 1967, p. 149.

De esta manera, Kepler, tras años de estudio, habría respondido a su problema y, por cierto, habría llegado a la anhelada armonía celeste.

El nuevo conocimiento producido, llevaría por nombre la tercera ley de Kepler, y se podría enunciar como:

[...] los cuadrados de los tiempos de revolución de cualquier planeta alrededor del Sol (incluso la Tierra), son proporcionales a los cubos de sus distancias medias al Sol (COHEN, 1963, p.149, traducción nuestra).

Desde un lenguaje matemático, se puede decir que:

$$D^3 / T^2 = K; K=\text{Constante}$$

Johannes Kepler, tras la muerte del emperador Rudolfo II en 1612, se habría mudado a la ciudad de Linz (a 341km de Praga), en donde comenzaría a ocupar el cargo de Matemático Provincial.

De esta manera, su nuevo hallazgo, sería socializado en el año 1619 en Linz (casi 10 años antes de su muerte), en su libro llamado *Harmonices Mundi* (en español, La armonía de los mundos), el que habría publicado tras que su madre fuera prisionera durante 14 meses, por haber sido acusada de brujería.

La obra *Armonía del mundo*, sería su mayor y último intento de expresión, sobre el secreto del universo, pues, lo intenta describir, comprender e interpretar desde una síntesis general y articulada de geometría, música, astrología, astronomía y epistemología (KOESTLER, 1959).

Por otra parte y para finalizar, cabe señalar que, no es de interés de este autor generar una confusión en la secuencia lógica sobre las contribuciones de Kepler, pero, en función a que este matemático imperial también tuvo una estrecha relación con el uso astronómico del telescopio, se abordará brevemente en la siguiente sección, y será retomado en la vida de Galileo.

3.12 Kepler y el telescopio astronómico

Si retornamos al año 1610, cabe indicar que, un consejero privado de la majestad imperial de Kepler, llegó con la noticia de que un matemático italiano llamado Galileo, había apuntado con un anteojo holandés de larga vista al cielo, y había descubierto “4 planetas desconocidos” (KOESTLER, 1959).

En la sección 4.5 profundizaremos un poco más sobre la recepción de la noticia por parte de Kepler, pero ya se tiene que tener en consideración que, este alemán, pese a no haber recibido noticias directas de Galileo durante 13 años, lo apoyará inmediatamente sin necesidad de más evidencias. Asimismo, se podrá percibir también que, al pasar el tiempo, corroboraría personalmente lo descubierto por Galileo con el telescopio.

De la misma forma, cabe destacar que, tras la legitimación a las observaciones galileanas, y en consideración a que años antes se había introducido en el mundo de la óptica, Kepler, sería la primera persona en explicar el cómo y el porqué del funcionamiento del telescopio, en su obra *Dioptrice* (en español, *Dióptrica*⁵⁸), publicada en el año 1610. En esta obra relacionada a la refracción como la ciencia mediante lentes, pese a no llegar a la formulación exacta de la ley de refracción, pudo desarrollar su sistema de óptica geométrica e instrumental, y deducir de él los principios del telescopio llamado astronómico o kepleriano (KOESTLER, 1959).

3.13 Sobre los últimos años de Kepler y sus contribuciones

Kepler, como se hizo alusión en las primeras secciones sobre su vida, desde niño habría tenido vivencias caracterizadas por las catástrofes, enfermedades, carencias económicas, relaciones poco agradables con familiares e intelectuales, y por cierto, víctima de las obligaciones imperiales y guerras religiosas.

Sus últimos 10 años de vida, no serían muy diferente. Tras su producción sobre la ley armónica, se habría mantenido como Matemático Provincial en Linz hasta 1626, en donde – de alguna manera – estaba siendo víctima de la Guerra de los 30 años⁵⁹, la que se había iniciado en 1618, y que sacudía a Europa Central en general y a Alemania en particular.

En los años siguientes, aun cuando tendría varias mudanzas de casa en diversas localidades en un ambiente de precariedad económica producto de la guerra, publicará las

⁵⁸ La *Dióptrica*, es la parte de la óptica que trata de los fenómenos de la refracción de la luz.

⁵⁹ La Guerra de los 30 años (1618-1648), fue una guerra que tuvo diversas fases y, que si bien se inicia entre la rivalidad de los partidarios de la reforma protestante y los de la contrarreforma dentro del Sacro Imperio Romano Germano, es decir, luteranos y católicos respectivamente, también abarcaría a disputas de geopolíticas. Fue una guerra provocó una masiva crisis caracterizada por la devastación, hambruna, enfermedades y muertes.

Tablas Rudolfinas, en 1627, las que estaban basadas en los datos de Brahe, movimientos planetarios y tablas matemáticas.

Johannes Kepler, víctima de una fuerte fiebre, fallece en la ciudad de Ratisbona, en el año 1630 (TOSSATO, 2003).

En relación al conjunto de contribuciones intelectuales de Kepler, cabe mencionar que, si bien no tendría adeptos de inmediato en su época, sus obras constituyen un pilar fundamental, para los intelectuales que irían a estudiar problemas análogos.

Al respecto Mourão, quien – entre otros – lo reconoce como el padre de la ciencia moderna, señala lo siguiente:

[...] Realmente, antes de él [Kepler], la Astronomía era una Geometría Celeste, esencialmente descriptiva. Fue con la publicación de su *Astronomia Nova*, fundada sobre las causas o Física Celeste, que tuvo inicio la síntesis entre Astronomía y Física. La importancia primordial de la obra de Kepler reside en el hecho de haber destruido el dualismo entre el mundo celeste o sub-lunar. La Tierra, el Sol y los planetas, fueron por la primera vez considerados como objetos de la misma naturaleza. Los astros, ya no configuraban más el quinto elemento de la naturaleza divina, conforme sugería Aristóteles y, por lo tanto, diferían de los otros cuatro elementos: aire, tierra, agua y fuego. Tal proposición, más la orden dada por sus leyes a la incipiente Mecánica Celeste, promovieron toda la revolución astronómica que se siguió, desdoblado del pensamiento copernicano (MOURÃO, 2003, p.195-196, traducción nuestra).

Asimismo, Tossato (2003), va a destacar el hecho de que, Kepler, dentro de la revolución copernicana, sería la primera persona en dar una respuesta astronómica y cosmológica coherente, en torno a la configuración del universo.

Sin embargo, Cohen (1967), aun cuando reconoce la importancia de las contribuciones de Kepler en aquella época, hace referencia a que éstas, no llevan directamente a explicar por qué los planetas se mueven en órbitas elípticas y barren áreas iguales en tiempos iguales, ni tampoco por qué la relación particular entre distancia y periodo se mantiene.

La respuesta a esta interrogante mencionada por Bernard Cohen, sólo sería desarrollada con Newton, gracias a los aportes de Kepler, Galileo y Descartes.

Siguiendo este hilo conductor, en la próxima sección, abordaremos la vida y obra de Galileo Galilei, la cual, gran parte se desarrolló en paralelo a la vida de su compatriota Giordano Bruno, de Tycho Brahe y Johannes Kepler, por lo que en la presente, habrán pequeños retornos a estos intelectuales.

Por lo tanto, una vez más, tenemos que tener en consideración que, el contexto socio-cultural en donde iría a contribuir, estaba caracterizado por continuos conflictos de poderes geopolíticos y religiosos.

4. Galileo y su formación inicial

Galileo Galilei, nace en la ciudad de Pisa, Italia, el día 15 de febrero de 1564. Hijo de Giulia Ammannati, quien venía de una familia de comerciantes de seda, y del músico y fabricantes de instrumento, Vincenzo Galilei.

Galileo, era el hermano mayor de 6 hermanos, y su familia, a pesar de venir de un estatus socio-cultural de “nobleza”, disponía de limitados recursos (CARVALHO; MEDEIROS, 2007).

Según Koestler (1959), Galileo, habría consolidado sus primeros años de estudio en una escuela jesuita de excelencia en Florencia, pero, como su padre quería que fuese un mercader, retornaría a la ciudad de Pisa. Sin embargo, al poco tiempo, al reconocer las grandes capacidades intelectuales de su hijo Galileo, lo estimula para que continuase estudios superiores.

Sobre este escenario, y en búsqueda de un reconocimiento social y económico, Galileo, se deja influenciar por los intereses y expectativas de sus padres, por lo que, a sus 17 años, entra a estudiar Medicina en la Universidad de Pisa.

En el año 1585, aun cuando había demostrado grandes habilidades en la universidad, no habría podido conseguir al menos 1 de las 50 becas internas (KOESTLER, 1959). De esta manera, por motivos de precariedad financiera, tuvo que abandonar la universidad de Pisa sin título alguno, y comenzaría a trabajar realizando clases particulares.

En los años próximos, no haría esfuerzo por retomar el área de la medicina, y comenzaría a prestar más atención por estudio de la geometría y a la construcción de máquinas simples, que a propósito, como señala Zanetic (1995), estaría influenciado por los trabajos del antiguo griego Arquímedes.

4.1 Galileo y su estancia en pisa: sus inicios en el estudio del movimiento

A modo de evidencia, por una parte, se sabe que, en el año 1587, con tan sólo 22 años, inventa una balanza hidrostática, para medir densidades en base al principio de Arquímedes y, por otra parte, en el año 1589, estudia el centro de gravedad de los sólidos, desarrollando nuevos teoremas (KOYRÉ, 1980).

Con lo anterior, adquiere reconocimiento de tal manera que, en el mismo año 1589, conseguiría un puesto para enseñar matemática en la universidad de Pisa.

Según señalan Motz y Hane (1995), habría sido en Pisa, en donde habría acentuado en su interés en la naturaleza de los movimientos y de la caída de los cuerpos. No obstante, hay incertidumbre entre los historiadores de la ciencia sobre el momento exacto.

Así también, sería en Pisa en donde Galileo se habría mostrado como un apasionado anti-aristotélico, como se puede percibir en la siguiente cita:

Aristóteles, dice Galileo, no comprendió nunca nada de física. Y sobre todo, en lo que concierne al movimiento local, casi siempre estuvo lejos de la verdad. En efecto, Aristóteles nunca pudo demostrar que el motor deba estar necesariamente unido al móvil, sin afirmar a la vez, que los cuerpos proyectados están movidos por el aire circundante. (GALILEO cit. KOYRÉ, 1980, p.53).

Asimismo, Galileo, continuaba con más preguntas que según él, Aristóteles no podía explicar:

[...] ¿Podría acaso explicar que un cuerpo pesado – un pedazo de plomo – pueda ser lanzado más lejos que un cuerpo ligero (del mismo tamaño)? ¿Que los cuerpos largos-una lanza- vuelen mejor que los cortos? ¿Y que vuelen con la punta pesada hacia adelante? ¿Cómo admitir que la fecha lanzada contra el viento sea llevada por la reacción del aire? ¿Cómo explicar por la reacción del medio el movimiento persistente de una rueda, de un trompo, de la esfera marmórea, pulida y recubierta de una funda? (GALILEO cit. KOYRÉ, 1980, p.53).

A lo anterior, Koyré (1980, p.53), también sumará la idea de que, lo postulado por Aristóteles en relación a la limitación y finitud movimiento, en sí, es contradictorio:

[...] si un desplazamiento del aire puede provocar otro desplazamiento, el fenómeno se reproduciría a su vez y el movimiento, una vez comenzado, se prolongaría indefinidamente e incluso se iría acelerando.

También cabe destacar que, el pensamiento de Galileo en torno a sus problemáticas en mecánica, también fueron influenciadas por las directrices teóricas sobre el ímpetu.

Finalmente, y como ya hicimos referencia, Galileo, fue fuertemente influenciado por la hidrostática de Arquímedes, por lo que haría una relación entre la velocidad de desplazamiento de un cuerpo en un cierto medio, con su peso relativo (que hoy se conoce como peso específico, y corresponde a la relación entre el peso de un cuerpo y su volumen).

Desde este referencial teórico, llegaría a pensar que, si dos cuerpos de mismo volumen, pero distinto material, son soltados en el aire desde una cierta altura, llegará primero al suelo quien tenga mayor peso. Por lo tanto, en el único caso que los cuerpos anteriores o cualquier otro podrían llegar juntos al suelo, serían en el idealizado caso del vacío (KOYRÉ, 1980).

En el marco de estas ideas y reflexiones, como señala Berrone (2001), sería este el periodo en que, Galileo, habría comenzado a escribir el tratado que hoy se conoce como *De Motu*⁶⁰ (en español, del movimiento), en cuyas primeras secciones expone una teoría de la caída de los graves basada en el principio de Arquímedes.

Según Koyré (1980), las notas, ensayos y reflexiones que aquí inicia Galileo, habrían quedado inconclusas en este periodo, pues, en el año 1592, abandona Pisa.

En el mismo año que habría dejado la universidad de Pisa, consigue un espacio en la Universidad de Padua, Venecia.

4.2 Galileo y su periodo en Padua

Durante esta estancia, aun cuando se interesa en la astronomía, retomaría y dedicaría mayor atención a los estudios relacionados a la mecánica.

Un aspecto relevante de esta etapa es que, Galileo, en 1595, tras haber estado estudiando las mareas, se convence que estas serían producto del movimiento de la Tierra, por lo que se vuelve un silencioso adepto al sistema de Copérnico.

Asimismo, y como fue mencionado en la sección 3.3 este es el periodo en que habría sido primer contacto (aunque no presencial), entre Galileo Galilei y Johannes Kepler, el que se abordará brevemente en la siguiente sección, para luego retomar la evolución del razonamiento galileano sobre el movimiento.

4.3 Galileo Galilei y el conocimiento de la primera obra intelectual kepleriana

En la sección 3.3, hicimos mención a que, Kepler, cuando escribe su obra *Mysterium Cosmographicum*, también habría enviado un ejemplar al “matemático” Galileo en 1597, por medio de Paulo Amberger, quien era amigo de ambos (KOESTLER, 1959; MOTZ; HANE, 1995).

En ese contexto, y en consideración a que Paulo Amberger regresaría casi inmediatamente a Alemania, Galileo, aun cuando alcanza a leer sólo el prefacio del libro,

⁶⁰ La obra *De Motu*, si bien Galileo la habría iniciado en su periodo como profesor en Pisa, ésta sólo sería publicada en el año 1687, es decir, después de su muerte.

decide escribir una carta a Kepler el 4 de agosto de 1597, en donde se referirá a la obra intelectual recibida.

Según Koestler (1959), algunos aspectos a destacar en aquella carta, son el compromiso a leer la obra completa y la gratitud manifestada por Galileo a Kepler por dos motivos; la primera, por sentirse privilegiado al recibir un ejemplar desde una persona que busca la verdad con sólidos argumentos, y la segunda, es que, por medio de las justificaciones señaladas en el libro, él podría responder varias interrogantes y fenómenos que le habían surgido desde que había adoptado las directrices de Copérnico, y que no podrían ser respondidas por hipótesis más corrientes. Asimismo, Galileo, menciona que tiene varios argumentos a favor de Copérnico, pero, que se ha abstenido de socializarlos.

Finalmente, Galileo Galilei señala que, si existiesen más personas dispuestas a consolidar la verdad desde las directrices que ambos defienden, él no dudaría en publicar sus reflexiones a la comunidad, pero como no es el caso, continuará avanzando en silencio.

Según Zanetti (1995), algunos historiadores indican que, Galileo, no difundía sus ideas por medio a la inquisición, otros señalan que tenía miedo al ridículo, mientras que otros, atribuyen la decisión al interés por la búsqueda de evidencias más poderosas en favor del sistema copernicano.

Kepler, al leer la carta de Galileo, se interesó en los comentarios y reflexiones que había mencionado el italiano, por lo que, rápidamente, coordinó con un viajero a Italia, para que llevase una carta de respuesta.

De esta forma, en la carta que escribió en Graz el 13 de octubre de 1597, mencionó lo siguiente:

Recibí el 1° de septiembre, excelentísimo humanista, la carta que escribiste el 4 de agosto. Me regocijé dos veces: primero porque ella significaba el comienzo de una amistad con un italiano; segundo por nuestro acuerdo acerca de la cosmografía copernicana [...] Supongo que si tu tiempo te lo ha permitido, ahora conocerás un poco mejor mi pequeño libro y deseo ardientemente saber cuál es tu opinión crítica sobre él, pues soy de condición tal que apremio a todos a quienes escribo para que me den su opinión sincera; y créeme que prefiero la crítica más acerba de un solo hombre ilustre al aplauso aturdido del vulgo común. Con todo, desearía que tú, que posees un intelecto tan excelente, adoptaras una posición distinta. Con tu ejemplo y tu manera sagaz y cauta vienes advertirme que uno debiera retirarse ante la ignorancia del mundo y no provocar con ligereza la furia de profesores ignorantes; en esto sigues a Platón y a Pitágoras, nuestros verdaderos maestros. Pero si consideramos que en nuestra era, primer Copérnico y luego una multitud de ilustrados matemáticos, se han lanzado a esta inmensa empresa, de suerte que el movimiento de la Tierra ya no es una novedad, sería preferible que nos ayudáramos que, con nuestros comunes esfuerzos, empujáramos hacia su meta este carruaje que ya está en movimiento. Tú podrías ayudar a tus colegas dándoles la tranquilidad de tu acuerdo y la protección de tu autoridad. Porque no sólo tus italianos se niegan a creer que están en movimiento porque no lo sientes; tampoco aquí, en Alemania, se hace un popular ausentado tales opiniones. Pero existen argumentos que nos protegen de estas dificultades [...] ¡Ten fe, Galilei, y sigue adelante! Si no me equivoco, son muy pocos los matemáticos prominentes de Europa que se apartarían de nosotros: pues tal es la fuerza de la verdad. Si te parece que Italia es menos favorable para publicar [tus obras] y si vivir allí representa

para ti un obstáculo, tal vez nuestra Alemania sea más favorable. Pero basta e esto. Hazme saber, por lo menos privadamente si no deseas hacerlo en público, qué descubriste en apoyo de Copérnico [...] (KEPLER cit. KOESTLER, 1959, p.351)

Al respecto, y como menciona Koestler (1959), la recepción del mensaje de Kepler no provocó la motivación que esperaba en Galileo, al contrario, pues este último, se sintió muy ofendido al entender que Kepler – de alguna manera – lo llamaba de cobarde. Con lo anterior, Galileo, decide no dar respuesta alguna al alemán.

De esta manera, Galileo continuará trabajando en Italia a su propio ritmo, produciendo nuevas contribuciones, las que se mencionarán en la siguiente sección

4.4 Galileo retoma el estudio de los movimientos en un marco de intensidad emocional

En el año 1598, Galileo Galilei, basado en el obra de Johannes de Sacrobosco *Tractatus de Sphaera* – aunque sin citarlo - escribe la obra *Trattato della sfera ovvero cosmografía* (es español, Tratado de la esfera cosmográfica) para sus estudiantes. No obstante, el libro será publicado sólo en 1656, por lo que varios se negarían a creer que había sido su obra, al haber defendido la astronomía de Ptolomeo (MARTINS, 2010).

Lo anterior, es bastante interesante, pues, se puede percibir un actuar particular de Galileo, ya que, aun cuando se habría vuelto un silencioso adepto al copernicanismo, en los aspectos públicos, continuará con la tendencia general de la época en torno a la astronomía, es decir, la defensa del geocentrismo.

Por otra parte, después de haber comenzado una relación con Marina Gamba en 1599 y haber sido padre de dos hijas en dos años, en el año 1604, retomaría el estudio en torno a la caída de los cuerpos y haría los primeros experimentos de plano inclinado (MARTINS, 2015).

Como se mencionó en la sección 4.1, Galileo, era partidario de una física arquimediana, por lo tanto, de una física caracterizada por la hipótesis matemática.

Según Koyré (1980), esto implicaría que, la física de las leyes del movimiento y ley de la caída de los graves, serán deducidas abstractamente, sin la necesidad de hacer uso de la noción de fuerzas, ni recurrir a la experiencia de los cuerpos reales.

Sin embargo, se hace interesante mencionar que, el historiador de la ciencia Stillman Drake, en base a notas que no fueron publicadas por Galileo, defenderá también el papel de la experimentación (ZANETIC, 1995).

Al respecto, si bien Zanetic (1995) no expresa su opinión o reflexión en relación a la comparación realizada, para este autor, Galileo, al igual que Isaac Newton, potencializaría sus producciones a partir de los modelos matemáticos al estilo de la antigua escuela pitagórica, apoyado de algunas reflexiones derivadas de la experimentación.

Galileo Galilei, en el marco intelectual y emocional señalado anteriormente, el 16 de octubre del año 1604, escribirá a su amigo y confidente en Padua, el teólogo, historiador, físico, matemático, astrónomo, escritor Paolo Sarpi:

Reflexionando sobre los problemas del movimiento, para los cuales, y a fin de demostrar los accidentes por mí observado, me faltaba un principio totalmente indudable que pudiera poner como axioma, he llegado a una proposición que tiene mucho de natural y evidente; y, supuesta ésta, demuestro luego todo el resto, en especial que los espacios atravesados el movimiento natural están en proporción doble del tiempo y que, por

consiguiente, los espacios atravesados en tiempos iguales son como los números impares “ab unilate” y las otras cosas. Y el principio es el siguiente: Que el móvil natural va aumentando de velocidad en la misma proporción en que se aleja de su punto de partida [...] (GALILEO en KOYRÉ, 1980, p. 76)

Sin embargo, aun cuando Galileo comienza a avanzar en torno a la ley de la caída de los cuerpos, comete el mismo error que había cometido Leonardo da Vinci y que iría a cometer René Descartes, pues, en el fenómeno de caída, si bien deduce correctamente que el espacio recorrido por un cuerpo es proporcional al tiempo al cuadrado, el principio del cual parte es incorrecto, ya que la velocidad es proporcional al tiempo y no al espacio recorrido (KOYRÉ, 1980; AZCÁRATE, 1984; ÁLVAREZ, 2012; MARTINS, 2015).

Según Koyré (1980), en torno al párrafo anterior, hay que considerar dos elementos que condicionan el pensamiento:

1. Era más fácil y natural hacer una relación velocidad y altura (que era una cosa que se podría imaginar y percibir), en comparación de pensar y reflexionar sobre el tiempo.
2. la coincidencia del error entre los intelectuales mencionados, no sería producto del azar, sino que sería producto de las concepciones persistentes en torno al espacio, tiempo y movimiento.

No obstante, tras continuas reflexiones, Galileo iría a corregir futuramente su error, el que sería cristalizado en su obra *Discorsi e dimostrazioni matematiche, intorno a due nuove scienze attenenti alla meccanica & i movimenti locali*, el que será abordada en la sección 4.9.

A continuación, haremos alusión a otra revolucionaria contribución de Galileo: el mejoramiento de telescopio y su uso para la producción de conocimiento científico.

4.5 Galileo y el mejoramiento del telescopio: catalizador del avance del conocimiento científico

Son diversos los relatos académicos y de divulgación que – históricamente – han atribuido erróneamente la invención del telescopio a Galileo. En palabras de Cohen (1967), ya existían evidencias de la invención del telescopio muchos años antes. Por ejemplo, Thomas Digges, en el año 1571, habría descrito un instrumento que hacía alusión a un instrumento similar al telescopio. Asimismo, existen otros relatos indicando que el instrumento habría sido hecho en Italia en el año 1590 y que habría quedado en posesión de un holandés en el año 1604 (COHEN, 1967).

Sea como sea, oficialmente, el telescopio se habría “re-inventado” en Holanda en el año 1608, lugar en donde habrían varias disputas de autoría (COHEN, 1967; KOESTLER, 1959). Desde este lugar, habrían comenzado las exportaciones a otros países de Europa, llegando a Italia en el año 1609.

En el mismo año en Venecia, Galileo, al entrar en conocimiento sobre la llegada del instrumento y la capacidad de este, se motiva a la construcción de uno análogo en base a la teoría de la refracción (KOESTLER, 1959).

De esta manera, Galileo, tras un proceso de ensayo y error en base a la combinación de un lente convergente (que hace los objetos más grandes, pero poco nítidos) y un lente divergente (que hace los objetos más pequeños, pero más nítidos), construye su primer telescopio con un aumento de 3 veces en julio de 1609 (ver ilustración 18).



Ilustración 18 - Telescopio mejorado por Galileo

Fuente: http://catalogue.museogalileo.it/gallery/GalileosTelescope_n03.html

Continuando con la mejora del instrumento, en agosto de 1609, consigue un telescopio con un aumento de 9 veces, y lo envía de regalo al senado veneciano, indicando que, con tal instrumento, se podrían evitar las invasiones marítimas, pues, permitía ver las velas y barcos hasta 2 horas antes de su llegada a tierra (KOESTLER, 1959).

Frente a este acontecimiento, el senado de Venecia, no dudaría en aumentar de inmediato el salario de Galileo, además de asegurar un puesto vitalicio en la universidad de Padua.

En ese mismo periodo, algunos artesanos comienzan a elaborar muchas copias del instrumento, y lo venden a cualquiera que lo quisiera, por un precio muy económico.

Según Koestler (1959), en ese escenario, y dado que vio afectada su reputación, Galileo, se aventura a mejorar el alcance y definición del telescopio, cuya referencia serían los cuerpos celestes.

Tras meses de trabajo, al apuntar a la Luna y a las estrellas con su telescopio mejorado, no sólo alcanzaría exitosamente su objetivo, sino que también, abría puertas para una gran revolución científica que no esperaba.

Las evidencias obtenidas con el telescopio, fueron publicadas en su primera obra científica de 24 hojas *Sidereus Nuncius* (en español, El mensajero de los astros) en marzo de 1610, Venecia.

Los hallazgos de Galileo, fueron los siguientes:

4. La Luna, no es exactamente esférica y su superficie, no es perfectamente lisa. Al contrario, está llena de irregularidades; cuencas, protuberancias, montes y valles (ver ilustración 19).

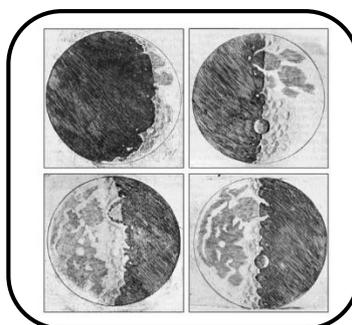


Ilustración 19 - Representación de la Luna observada por Galileo en distintos momentos con el telescopio

Fuente: <http://www.mhhe.com/physsci/astronomy/fix/student/chapter4/04b01.html>

5. Es posible visualizar que existen muchos más estrellas de las que estaban registradas. Por ejemplo, en las “proximidades” de Orión, pudo observar 80 estrellas nuevas (ver

ilustración 20), mientras que “cerca” de las Pléyades, observó 36 estrellas jamás vistas (ver ilustración 21). Las antiguas estrellas, las dibujó más grande, mientras que, las nuevas observadas, las representó más pequeñas.

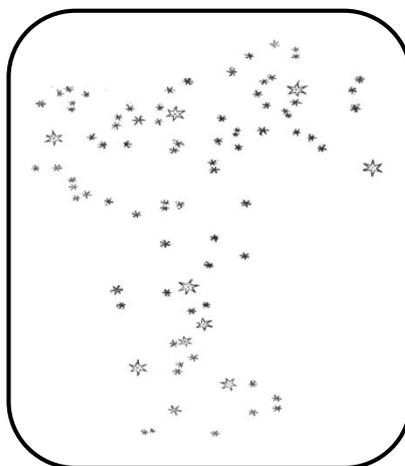


Ilustración 20 - Representación del diseño elaborado por Galileo sobre la observación a la constelación de Orión

Fuente: <https://comunicacioncientifica.files.wordpress.com/2011/02/sidereus-nuncius-castellano.pdf>

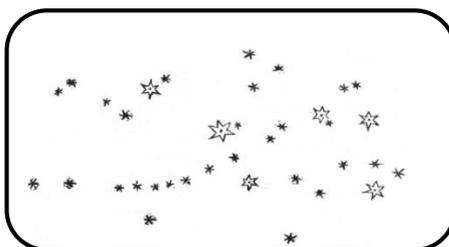


Ilustración 21 - Representación del diseño elaborado por Galileo sobre la observación a las Pléyades

Fuente: <https://comunicacioncientifica.files.wordpress.com/2011/02/sidereus-nuncius-castellano.pdf>

6. A partir del día 13 de observación, pudo percatarse de la existencia de “4 nuevos planetas” que jamás se habían observados, haciendo referencia a lo que hoy se conocen como los 4 satélites del planeta Júpiter (ver ilustración 22). Galileo tras un conjunto de observaciones (mucho más de las que aparecen en la ilustración 22), pudo concluir que los “planetas nuevos” siguen – de alguna manera – a Júpiter incluso en su retrogradación.

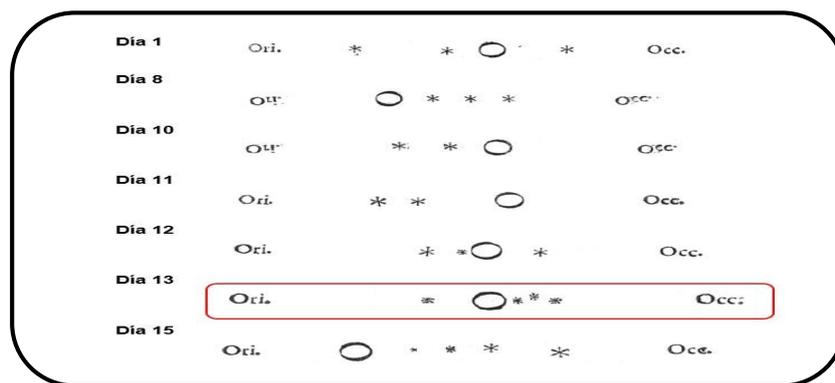


Ilustración 22 - Representación de “los planetas” (lunas de Júpiter) observado por Galileo
Fuente: <https://comunicacioncientifica.files.wordpress.com/2011/02/sidereus-nunciuss-castellano.pdf>

Con lo anterior, no se quiere trascender la idea de que Galileo fue la primera persona en apuntar a los cielos con un instrumento que permitía aumentar el tamaño de los astros, ya que, existieron otras personas que lo habrían precedidos, como es el caso de Thomas Harriot en Inglaterra y Simon Marius en Alemania (COHEN, 1967).

Al respecto, un aspecto que marcaría la gran diferencia, sería el hecho de que Galileo habría sido el primero en publicar lo que vio y en describirlo en un lenguaje que – de alguna manera – conmovería a muchas personas.

[...] El lector sentía instintivamente las vastas consecuencias filosóficas de esta ampliación del universo, aun cuando esas consecuencias no estuvieran explícitamente dichas. Lo montes y valles de la Luna confirmaban la semejanza que había entre la materia celeste y la materia terrestre, la naturaleza homogénea del material con que estaba hecho el mundo. El número insospechado de estrellas invisibles reducía al absurdo la idea de que habían sido creadas para placer del hombre, ya que éste sólo podía verlas armado con un aparato. Las lunas de Júpiter no demostraban que Copérnico tuviese razón, pero conmovían más aún la antigua creencia de que la Tierra fuera el centro del mundo y de que alrededor de ella giraran todas las cosas [...] (KOESTLER, 1959, p. 380).

Sin embargo, frente a estas evidencias, serían varios los nobles, religiosos e intelectuales que se negarían a aceptar lo publicado por Galileo.

Su reciente obra, la había comenzado a enviar - estratégicamente - a personas con autoridad social e intelectual, pues, procuraba una legitimación.

De hecho, hasta se animaría de enviar a una carta –aunque no directamente – al reconocido matemático imperial de Alemania, Johannes Kepler.

Esta situación, refuerza el carácter estratégico de Galileo en su actuar, puesto que, como se evidenció en la sección 4.3, el italiano se había negado de continuar el contacto con el alemán.

En ese escenario, aun cuando existían molestias por parte de Kepler al no haber recibido respuestas durante años por parte de Galileo, sin disponer de mayores pruebas que el libro, no dudaría en actuar generosamente con el italiano, y desde aquí reconocer y defender su producción intelectual (KOESTLER, 1959).

Al llegar la carta de respaldo de Kepler a la obra *Sidereus Nuncius* a Italia, Galileo Galilei, aun cuando no envía una carta de agradecimiento al reconocido alemán, comenzaría

a utilizar la carta ante todas sus esferas sociales, consiguiendo persuadir a muchos opositores de su obra.

Según Koestler (1959), meses después, Kepler, por una cuestión legal sobre engaños y mentiras, y presionado entre sus pares por haber legitimado algo que no había visto, escribe a Galileo para comentar sobre las duras críticas que le estaban llegando desde Alemania e Italia sobre la defensa a sus observaciones astronómicas, por lo que manifiesta expresamente la imperante necesidad de conocer su telescopio, y así fundamentar su legitimación a partir de su propia observación.

Ante lo anterior, después de 13 años, Galileo, no dudaría en responder a la brevedad, ya que, no solamente se arriesgaba a que aumentaran las presiones sociales contra su persona y contribuciones, sino que también, podría perderlo a él, quien era su principal aliado y respaldo intelectual.

Galileo escribe a Kepler en agosto de 1610, haciendo alusión sólo a sus dos últimas cartas que le habrían llegado desde él. Explicita agradecimientos por la defensa a su obra y noble espíritu. Sin embargo, como señala Koestler (1959), se niega a enviar el telescopio que “ampliaba las cosas en 1000 veces”, pues, se encontraba en manos del gran duque, quien lo exhibiría en su galería como uno de sus mayores tesoros. Asimismo, continuará excusándose, haciendo referencia a la tremenda dificultad de construcción de un instrumento con tal excelencia. Pese a esto, promete construir prontamente otros telescopios, para enviarlos a sus “amigos”. Hoy se sabe que, Kepler, jamás recibió un ejemplar.

Galileo, omitirá todo sobre el progreso de sus observaciones en la carta, de hecho, no hará referencia alguna sobre el descubrimiento que había comunicado dos semanas antes, el cual, estaba relacionado con la visualización de Saturno en triple forma. El telescopio de Galileo, no permitía ver los anillos de Saturno que hoy se conocen, por lo que él pensó que, aquel planeta, tenía dos lunas girando a su alrededor.

4.6 Del reconocimiento a galileo a la prohibición copernicana: un coartar progresivo

Continuando con la descripción de la sección anterior, destacamos el hecho de que, Kepler, conseguirá prestado un telescopio por medio de su protector, el Duque de Baviera, quien lo habría recibido de obsequio por parte de Galileo, y que habría decidido llevarlo a Praga para que lo utilizara el matemático imperial.

De esta manera, Kepler, al apuntar el cielo con el instrumento, consigue confirmar personalmente los descubrimientos señalados por Galileo en torno a las lunas de Júpiter, las que llamó de satélites (KOESTLER, 1959).

Sobre el contexto anterior, sería mucho más fácil para Galileo tener un reconocimiento no solamente entre los intelectuales, sino que también dentro de la nobleza y la iglesia.

De hecho, el colegio jesuita, a través de sus más reconocidos matemáticos y astrónomos que inicialmente se habrían negado, ahora, no sólo aceptarían y reconocerían unánimemente la obra galileana, sino que también, contribuirían a mejorar las observaciones de este.

Al respecto, Koestler (1959), señala que, al ser confirmadas las fases de Venus por el Decano de los astrónomos jesuitas, se constituía como una prueba irrefutable el hecho de que ese planeta se movía alrededor del Sol, por lo que, el sistema aristotélico-ptolemaico, al volverse insostenible, obligaría la adopción de un modelo alternativo.

De esta manera, tendrían dos opciones; aceptar el heliocentrismo de Copérnico, o bien, el modelo híbrido de Brahe.

Lo más razonable y no tan revolucionario, era legitimar un punto intermedio, por lo que, la orden jesuita que era el colectivo intelectual de la Iglesia Católica representados por los astrónomos de diversos lugares de Europa, deciden adoptar el modelo de Tycho Brahe.

No obstante, había libertad para discutir y reflexionar en torno al modelo de Copérnico, siempre que este último fuera considerado de una manera hipotética y no como una verdad (KOESTLER, 1959).

En complemento a lo anterior, también se hace relevante mencionar que, los astrónomos jesuitas, al tiempo, también habrían confirmado que la Luna era de carácter “terrestre”, que el Sol tenía manchas, y que los cometas se movían más lejos que la órbita lunar.

Con lo anterior, se aportaban más pruebas para el abandono de la doctrina aristotélica, por parte de la orden intelectual de la Iglesia.

Sin embargo, como en toda esfera social, y considerando que Galileo nunca fue muy querido por su “radiactiva” personalidad, hubo personas de universidades fieles al aristotelismo, que se resistirían a reemplazar la tradición por la innovación galileana.

En esta época, también se hace relevante el hecho de que, Galileo, haya negado la autoría de “descubrimiento” de las manchas solares al reconocido astrónomo jesuita, el padre Scheiner, pues, de hecho, como señala Martins (2015), otras personas como Thomas Harriot en 1610 y Johannes Fabricius en 1611, ya las habrían visto.

A modo de comentario, cabe resaltar que la evidencia de las manchas solares, por una parte, permitía una interpretación en torno a la variación del Sol en el tiempo y, por otra, que éste cuerpo celeste rotaba (MARTINS, 2015).

Así, Galileo, en un marco de falacias insostenible sobre su autoría, creó a su primer enemigo entre los intelectuales jesuitas, e inició el fatal proceso que se tornaría en contra él (KOESTLER, 1959).

Al pasar el tiempo, si bien continuaba la valoración hacia el italiano, poco a poco, los aristotélicos incondicionales, fueron favoreciendo instancias, para contradecir la defensa implícita copernicana en Galileo.

Después de 50 años trabajando en base al sistema aristotélico-ptolemaico de los griegos e incluso – en ocasiones- defendiéndolo, Galileo, al fin hace público su apoyo y defensa al copernicanismo, y explicita consideraciones soberbias a favor de la libertad del pensamiento.

Asimismo, aludirá a las Sagradas Escrituras, señalando que, si algunos trechos de estas son leídos e interpretados de manera literal, se podría estar difiriendo de la verdad.

Sobre este escenario, y en un marco peyorativo y de falacias, en el año 1618, hubo acusaciones en contra Galileo ante la Inquisición, pero ésta, al percibir la falta de pruebas y algunas falsedades, no reconocerán indicios de herejía, y optan por abandonar los casos.

No obstante, como señala Koestler (1959), aun cuando en los próximos 18 años Galileo continúa una vida normal en convivencia con la Iglesia, las acusaciones quedan en los registros del Santo Oficio y en la memoria de varios teólogos.

Durante esos años, Galileo, sumará a un poderoso enemigo, el cardenal Roberto Bellarmino, quien años antes habría sido uno de los inquisidores en el juicio a Giordano Bruno, y que ahora, era general de la orden de los jesuitas, consultor del Santo Oficio y el teólogo

más respetado de la cristiandad, a tal punto que, sus opiniones, tenían más autoridad espiritual que las que las del papa Pablo V.

Inicialmente, no habría habido inconvenientes por parte del cardenal, pues, para él, mientras Galileo o cualquier otra persona se mantuviera dentro de los límites de la física y la matemática, y se abstuviera de interpretaciones teológicas de las Sagradas Escrituras, no existía ni un problema.

A propósito, se hace relevante mencionar que, en el año 1615, Bellarmino, al leer el libro del padre Frei Paolo Foscarino, quien en su obra defiende a Copérnico, interpreta como verdadero y compatible el heliocentrismo con la Biblia y hace alusión a Galileo, le enviará una carta, para que considerara lo siguiente:

1. No existe problema alguno en defender el sistema de Copérnico y señalar que es superior al de Ptolomeo, siempre que sea desde un abordaje hipotético.
2. A partir de la decisión legislativa del Concilio de Trento, no pueden existir interpretaciones de las Sagradas Escrituras contraria a la tradición.
3. La única excepción a la regla, sería que existirán pruebas a favor de una nueva cosmología (heliocéntrica), pero, según el conocimiento respaldado por otros reconocidos intelectuales, estas evidencias no existen.

Ante el conocimiento de la carta, Galileo, entre sus círculos más cercanos, socializará su malestar al respecto, y señalará que, aun cuando es viable para él mostrar numerosas pruebas a favor del copernicanismo, y desde aquí convencer a Bellarmino, evitará hacerlo. Para él, era una pérdida de tiempo persuadir a alguien que ni siquiera podía comprender el más fácil y sencillo de sus argumentos (KOESTLER, 1959).

Sobre este escenario, y en conocimiento de sus habilidades retóricas verbales por sobre las escritas, Galileo, decide viajar a Roma, para explicitar argumentos personalmente a favor del heliocentrismo.

Pese a que varias personas dentro de la Iglesia interpretaron el viaje de Galileo como una gran amenaza, será recibido en Roma.

En este lugar, Galileo, menciona que tenía una prueba física decisiva a favor del copernicanismo, pero no la verbalizará de manera inmediata, pues, quería persuadir primero desde el ataque al sistema aristotélico-ptolemaico e interpretaciones bíblicas.

Al percatarse de que sus argumentos estaban siendo insostenibles, pasará a fundamentar a partir de su “prueba física concluyente”, la teoría de las mareas.

Galileo, aun contradiciendo investigaciones previas realizadas por sí mismo, comenzaba a defender que las mareas, eran producto del movimiento combinado de la Tierra, y no por causa de la Luna, pues, las influencias celestes, eran tan sólo una superstición.

El italiano, tras percibir que no estaba teniendo el impacto que pretendía en el círculo religioso, decide entrar en contacto con el Papa, enviándole una carta, por medio de un joven cardenal, pues, sus amigos de la Iglesia, se negarían para ser intermediarios.

Como señala Koestler (1959), la mediación del joven cardenal Orsini con el Papa, no tuvo resultado favorable para Galileo, pues, cuando Orsini comienza a replicar a favor de la carta de Galileo, el Papa señalará –sin más preámbulos – que envíe el asunto al Tribunal del Santo Oficio.

En este escenario, el Papa se reunirá de inmediato con Bellarmino, para discutir sobre lo que estaba aconteciendo, en donde – rápidamente – decidieron que la opinión galileana era errónea y herética.

Koestler (1959), continúa diciendo que, a partir de estos acontecimientos, se citó a una reunión a los calificadores del Santo Oficio en febrero de 1616, para que dieran su opinión en torno a dos proposiciones:

1. El Sol es el centro del mundo y está inmóvil.
2. La Tierra no es el centro del mundo y está en movimiento.

Frente a estas proposiciones, los calificadores ya mencionados, es decir, los expertos en teología, negaran unánimemente la primera indicando que es necia, absurda, filosófica y contradice las Sagradas Escrituras, mientras que la segunda proposición, será calificada –principalmente –como errónea.

Pese al veredicto de los calificadores, los cardenales presionarán para que se emita un comunicado en donde no se haga alusión explícita a la herejía.

Fue así que, la Congregación General del Índice, si bien no hace una acusación de herejía contra Galileo, sí publica un decreto el 5 de marzo de 1616 en donde prohíbe categóricamente el libro a favor del copernicanismo del padre Foscarini, mientras que el libro *De revolutionibus Orbium Coelestium* de Copérnico, será prohibido “hasta que fueran corregidos sus errores”. Por último, el decreto también prohibirá la enseñanza de los principios del heliocentrismo (MARICONDA, 2005).

Cabe destacar que, hasta aquel momento, la única obra de Galileo que se refería a Copérnico, era la de las manchas solares, pero al tener un abordaje hipotético, era libre de censura.

No obstante, Galileo, aun cuando estaba coartado por el contexto mencionado al obedecer la declaración final de la Iglesia y no publicar nuevas obras en los años siguientes, nunca deja de reflexionar en torno a una prueba a favor de la defensa al copernicanismo.

4.7 Apoyo explícito al copernicanismo y sentencia de la inquisición: un periodo de controversias

En los años siguientes, aun cuando la guerra de los treinta años en Europa estaba en pleno proceso, acontecerían hechos que condicionarían las decisiones de Galileo.

Tras la muerte de Bellarmino, quien había estado a la cabeza de la orden de los jesuitas y se oponía al heliocentrismo, acontece un inesperado y “favorable” hecho para Galileo, pues, en el año 1623, el cardenal Maffei Barberini, quien conocía a Galileo desde que este había enseñado en Pisa y que había actuado a favor del italiano en varias ocasiones, es electo Papa en Roma, cuyo nuevo nombre adquirido es Urbano VIII (MARICONDA, 2005).

Urbano VIII, era una persona que, a diferencia del Papa Gregorio XV, tenía un pensamiento un poco más liberal. Así también, al igual que Galileo, disfrutaba del reconocimiento social y carecía de humildad intelectual. En este sentido, ambos, al considerarse superhombres, no es de extrañar sus constantes y mutuas adulaciones.

En este escenario, Galileo, tras viajar a Roma y tener 6 sesiones privadas con Urbano VIII, aun cuando habría intentado de “convencerlo” para una retractación del decreto de 1616, el Papa le negaría la solicitud. No obstante, el líder religioso, le habría dado algunas sugerencias de cómo avanzar en su aventura intelectual, siempre que abordara los postulados del copernicanismo como una hipótesis.

A lo anterior, el Papa agrega que, aun cuando el paradigma cosmológico vigente pueda ser refutado, no se puede tener certeza de que el nuevo defendido sea verdadero, pues, Dios, podría haber producido fenómenos, de tal manera que, no se pudiera adivinar o comprender el cosmos (MARTINS, 2015).

Aprovechando el “respaldo” Papal, Galileo, con más de sesenta años, sentía que- de alguna manera – tenía el camino libre para emprender su gran apología a Copérnico (KOESTLER, 1959).

Sobre este escenario, Galileo, comenzaría a trabajar en su nueva obra, y no sería hasta 1632, que publicaría la obra titulada *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* (español, Diálogos sobre los dos máximos sistemas del mundo) en Florencia. Como señala Koestler (1959), en esta obra, aparecen tres personajes: Salviati, brillante hombre de la ciencia que es el vocero de Galileo; Sagredo, que lo representa como un hombre aficionado, inteligente y de actuar neutro y, finalmente, a Simplicio, quien defendería a Aristóteles y a Ptolomeo.

Asimismo, Koestler (1959, p.464-465), indica en relación a la obra:

Es Simplicio quien, después de manifestarse aquí y allí como un asno, hacia el final de la obra se rinde al argumento del Papa Urbano, del cual dice que procede “ de una eminentísima y muy ilustrada persona, ante quien debe uno guardar silencio”; y tras esto los otros dos se declaran conformes por esta “admirable y angélica doctrina! Y deciden “marcharse e ir a gozar una hora de fresco, en la góndola que nos espera”. Y así termina el diálogo, con lo que solamente podría llamarse una burda estocada al Papa [...] con las consecuencias que podían preverse.

Si bien no ahondaremos en los detalles de los Diálogos de Galileo, se nos hace interesante mencionar que estos, estaban elaborados en base a 4 jornadas, los que en conjunto, hacían referencia a la refutación de los postulados de Aristóteles sobre el cosmos en general, apoyo a la idea de la Tierra en movimiento, argumentos astronómicos a favor y en contra de Copérnico, siempre intentando defender – aunque en un marco de manipulación y distorsiones - que éste último era superior al ptolemaico y, finalmente, sobre la explicación de la teoría de las mareas (KOESTLER, 1989).

En consideración al objetivo del presente, la jornada 2 de Diálogos, merece una mayor atención, ya que, Galileo, hace referencia principalmente al movimiento de los cuerpos en una Tierra que se mueve.

Según Martins (2015), Galileo, inicia con argumentos físicos contra la rotación de la Tierra, indicando que no hay experimento dentro de la cabina de un navío que permita saber si éste se mueve o no, por lo que, de la misma manera, no existe ni un experimento que permita saber si la Tierra está parada o en movimiento. En otras palabras, como señalan Porto y Porto (2009), Galileo, a través del personaje de Salviati, incorpora el concepto de relatividad del movimiento.

Luego, Galileo, realiza argumentos a favor de la rotación terrestre, indicando por una parte que, la ausencia de dispersión de los cuerpos terrestres se debe a que el movimiento de rotación es natural y, por otra parte, existe la gravedad, y por menor que sea la tendencia de los cuerpos a caer, ella es suficiente para anular la tendencia a ser tirados hacia afuera (MARTINS, 2015).

De esta manera, aun cuando el cuerpo es soltado “solitariamente” hacia la superficie de la Tierra, éste compartirá el movimiento de nuestro planeta. Es decir, desde el punto de vista del objeto, es como si la Tierra no se moviera (PORTO; PORTO, 2009).

Así también, Galileo, analiza la composición del movimiento de la caída de un cuerpo en una Tierra en rotación, llegando a la conclusión de que, la trayectoria del cuerpo, es un

“semi-círculo”. Insistía en que, todos los movimientos naturales, son “circulares” (MARTINS, 2015).

Junto a lo anterior, cabe destacar que a partir de los Diálogos, han sido diversos los historiadores de la ciencia que se han referido al principio de inercia. Por una parte, están aquellos que defienden que, Galileo, habría hecho alusión al principio de inercia, como es el caso de Stillman Drake, mientras que otros, como Alexandre Koyré, sustentarán la idea de que, el italiano, aun cuando se habría aproximado bastante al principio de inercia, no lo habría consolidado por el hecho de no liberarse de su pensamiento en torno a la gravedad (MARICONDA cit. ZANETIC, 1995).

Con lo anterior, no se pretende trascender la idea de que las nociones relacionadas a la inercia en Galileo, se inician en su obra de los Diálogos. De hecho, Drake (1973), defiende que, Galileo, habría iniciado su “abordaje” a la inercia en la obra *De Motu*, luego, en sus trabajos no publicados de mecánica, en la carta de *Historia y Demostraciones en torno a las Manchas Solares* (1613), en los *Diálogos* (1632) y, finalmente, en los *Discursos* (1638).

El filósofo Pablo Rubén Mariconda, indica que, la controversia entre historiadores de la ciencia en torno algunos trechos de los Diálogos de Galileo, estarían en el “carácter” de la inercia, pues, mientras que para Stillman Drake era rectilínea, para Koyré y Allan Franklin, era una “inercia circular” (ZANETIC, 1995; BERNARDES, 2011).

Volviendo a una visión panorámica de los Diálogos de Galileo, Koyré (1980), señala que la obra, intentaba exponer dos sistemas astronómicos rivales (aristotélico-ptolemaico y copernicano), siempre en contra de la ciencia y filosofía tradicional de la época. Asimismo, este historiador de la ciencia dice que, los Diálogos, realmente, no son una obra astronómica ni física, sino que, una obra de crítica, polémica, pedagógica, filosófica e histórica. De hecho, es la obra que representa la historia del pensamiento de Galileo (KOYRÉ, 1980).

Con todo lo anterior, el panorama para Galileo cambiaría desfavorablemente, pues, al comenzar a circular copias impresas de su obra, el Papa Urbano y los miembros del Santo Oficio, tardarían pocas semanas en descubrir que habían sido burlados, no sólo por haber fingido ante el Papa que discutiría sólo de manera hipotéticamente el copernicanismo, sino que violó el acuerdo de 1616 (KOESTLER, 1989; MARTINS, 2015).

Sobre este escenario, el libro es confiscado, y Galileo, es citado para que compareciera ante la Inquisición en Roma. Así, aun cuando rebate estar viejo (68 años) y con problemas de salud, tras una amenaza de la Inquisición a la prisión inmediata, viaja después de 4 meses a Roma (KOESTLER, 1989).

4.8 Acusación y sentencia a Galileo por el Santo Tribunal de Oficio

El interrogatorio ante el Tribunal, comienza en abril de 1633, en donde tras un largo proceso, es juzgado y condenado por haber violado la advertencia del Tribunal de Oficio de 1616 y haber enseñado la teoría prohibida de Copérnico (MARTINS, 2015).

No obstante, en función al prestigio, vínculos y trayectoria del italiano, tendrá una consideración “especial”, y es obligado a que se retracte de lo publicado en su controversial obra, por medio de un juramento en una iglesia. Galileo, en un marco de “derrota” y miedo, y ya con 70 años, cede a la petición.

Continuando con el proceso, el Tribunal del Santo Oficio, incluye el *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* en el Índice (el que sólo saldrá en 1824). No obstante, cabe destacar que, de manera clandestina, llega una copia de la obra en manos de su amigo

Bernenger en Estrasburgo (ciudad de Francia cerca de Alemania), quien se encargará de traducirlo al latín en 1635 y distribuirlo en toda Europa (KOESTLER, 1959; MARTINS, 2015).

En cuanto a Galileo, es condenado a prisión domiciliar en Florencia, por el resto de su vida. No obstante, no fue una prisión como en el imaginario colectivo ha trascendido, pues, Galileo, jamás estuvo ante celdas. De hecho, continuó una vida con ciertas comodidades, podía avanzar en sus nuevos retos intelectuales, y podía recibir visitas e intercambios con amigos e intelectuales.

Así, como señala Koestler (1989), en este último periodo de vida, Galileo, vuelve a su abandonada vocación sobre la explicación de los movimientos, componiendo su libro en donde descansa su verdadera e inmortal fama: *Discorsi e dimostrazioni matematiche, intorno a due nuove scienze attenenti alla meccanica & i movimenti locali* (En español, Discurso y demostración matemática, en torno a dos nuevas ciencias).

4.9 Última contribución de Galileo en vida: un aporte catalizador de la ciencia moderna

Su nueva obra intelectual, Galileo, no discute la teoría de Copérnico, sino que se limita a publicar sobre la resistencia de los materiales y sobre mecánica.

No obstante, su obra, no sólo sería producto de las reflexiones que tendría en los años luego de su sentencia, sino que, de todas aquellas acumuladas en torno a las máquinas y los movimientos, desde sus primeros años de formación en la universidad.

Los contenidos de esta obra, al igual que en *Diálogos*, es presentada en una conjugación entre ciencia y técnica, a partir de 3 personas que dialogan; Salviati, Sagredo y Simplicio.

Como se ha señalado, la obra constituyó un gran aporte para ciencia, pues trajo los elementos que hoy conforman el conocimiento científico moderno, en base a dos nuevas ciencias: en su primera ciencia, Galileo, aborda la ciencia de la resistencia de los materiales, mientras que, en su segunda ciencia, se enfoca en el relato del descubrimiento empírico de la caída de los cuerpos, a la reformulación matemática de esa ley, a la cinemática, a la demostración de la trayectoria parabólica de los proyectiles, y otros, que dan cuenta de la riqueza argumentativa del raciocinio asociados al pensamiento moderno que naciente.

Una cuestión que para esta pesquisa se hace relevante, es la relacionada a la caída de los cuerpos, por lo que es inevitable escapar de la tercera jornada de la obra que se aborda en esta sección, pues, trata de los movimientos “uniforme”, “local” y “naturalmente acelerados” (ZANETIC, 1995).

Como señala Zanetic (1995), Galileo, después de la presentación de 6 teoremas relacionados con el movimiento uniforme, llega a plantear que, éste tipo de movimiento es el que, en tiempo iguales, recorre espacios iguales. Luego, inicia la discusión del movimiento naturalmente acelerado, la que lo lleva a concluir que, éste movimiento es el que partiendo del reposo, en tiempos iguales, tiene aumentos iguales de velocidad.

Como se hizo referencia en la sección 4.4, Galileo, había cometido el error de imaginar que, la velocidad de caída de un grave, era proporcional a la distancia recorrida por este cuerpo y no al tiempo transcurrido al recorrer esta distancia.

Sin embargo, ahora venía una nueva forma de pensar, lo que quedó materializado en la obra galileana abordada en el presente:

Si un móvil, partiendo del reposo, cae con un movimiento uniformemente acelerado, los espacios recorridos por éste en cualquier tiempo, están entre

sí en la razón doble de los tiempos, es decir, como los cuadrados de los tiempos (GALILEO cit. KOYRÉ, 1980, p.142)

Para comprender mejor la explicación de Galileo en torno a la caída de los cuerpos, se utilizará la misma representación (ver ilustración 23).

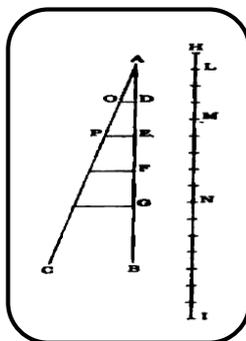


Ilustración 23 - Representación geométrica entre la distancia y el tiempo por Galileo
Fuente: extraída de KOYRÉ, 1980, p. 143.

Supongamos que el flujo del tiempo, a partir de un instante cualquiera A, está representado por la extensión AB, de la cual se toman dos tiempos cualesquiera AD y BE; que HI es la línea por la que el móvil, partir del punto H, tomado como comienzo del movimiento, desciende con movimiento uniformemente acelerado; HL, el espacio atravesado en el primer tiempo AD y HM el espacio por el cual descenderá en el tiempo AR; afirmo que el espacio HL al espacio HM tiene proporción doble de la que poseerán los cuadrados EA, AD. Si se traza la línea AC formando un ángulo cualquiera con AB, y de los puntos D y E tracemos las líneas paralelas DO, EP: de éstas, DO representará el grado máximo de velocidad alcanzado en el instante E del tiempo BE. Pues bien, como se ha demostrado más arriba, en lo que concierne a los espacios recorridos, que los espacios, uno de los cuales es atravesado por el móvil que se mueve con un movimiento uniformemente acelerado a partir del reposo, y el otro, en el mismo tiempo, por un móvil que se mueve con movimiento uniforme con una velocidad igual a la mitad de la velocidad máxima alcanzada en el movimiento acelerado, son iguales, es evidente que los espacios MH, LH son los mismos que los que serían atravesados por movimientos uniformes cuyas velocidades fuera como las mitades de PE, OD, en los tiempos EA, DA. Así pues, si se demostrara que los espacios MH, LH están en proporción doble de los tiempos EA, DA, nuestro teorema estaría demostrado. Ahora bien, en la proposición cuatro del libro I se ha demostrado que los espacios recorridos por los móviles que se mueven a una velocidad uniforme tienen entre sí una proporción compuesta de las proporciones de velocidad y tiempo; *pero aquí la proporción de las velocidades es la misma que la proporción de los tiempos* (efectivamente, la proporción de la mitad de PE a la mitad de OD, o de la entera PE a la entera OD es también la de AE a AD). Luego la proporción de los espacios atravesados es doble de la proporción de los tiempos. (GALILEO cit. KOYRÉ, 1980, p. 142-143).

Como indica Zanetti (1995), esta es finalmente la ley de la caída de los cuerpos la que llega al siguiente corolario, la que para Koyré (1980), es la mayor victoria intelectual de Galileo al someter el movimiento y, por lo tanto, al tiempo, a la ley del número entero:

De donde se deduce que si se tomara desde el primer instante el comienzo del movimiento un número cualquiera de tiempos iguales, tales como AD, DE,

EF,FG, tiempo en los cuales serían atravesados los espacios HL, LM, MN , NI, estos espacios serían entre sí como los números impares *ab unilate*, a saber, como 1, 3, 5, 7, pues tal es la proporción de los excedente de los cuadrados de las líneas que se exceden de los cuadrados de las líneas que se excedan igualmente y cuyo exceso e igual a la menor; dicho de otra forma, de los cuadrados que se siguen *ab unilate*.. Así pues, e grado de velocidad en tiempo iguales según la serie de los números simples, y los espacios atravesados en los mismos tiempos reciben incrementos de acuerdo a la serie de los números impares *ab unilate* (GALILEO cit. KOYRÉ, 1980, p. 143-144)

Con todo lo anterior, y conforme al objeto de estudio de la presente, las contribuciones de Galileo, sí fueron significativas, pues, no sólo aportaría pruebas a favor del copernicanimo, sino que también, sienta bases fundamentales de la mecánica que serían utilizadas por Isaac Newton, para la gran sistematización.

Galileo Galileo, fallece en 1642, ciego y con 78 años de edad. En aquel momento, la Iglesia, se negó a todo tipo de homenajes, por lo que su entierro fue simple.

Para finalizar, se hace interesante socializar lo explicitado por el reconocido Historiador de la Ciencia Brasileño, Roberto de Andrade Martins, quien si bien es consciente de las contribuciones de Galileo, también conoce sobre las limitaciones del italiano.

Es claro que no se puede negar que Galileo haya contribuido para la creación de una nueva física y para la aceptación del sistema de Copérnico; pero sus concepciones, aún son intermedias entre el pensamiento antiguo (Aristóteles) y la mecánica clásica (de Newton). De ningún modo él consigue presentar una teoría física completa y satisfactoria, coherente con el copernicanismo. Es necesario abandonar la antigua concepción de Galileo como el gran genio que resuelve de una sola vez todos los problemas y lanza la física de Aristóteles a la basura. La historia de la ciencia, no da saltos tan grandes como ese (MARTINS, 1994, p. 197, traducción nuestra).

A continuación, se abordará algunas contribuciones de René Descartes para la revolución copernicana.

No es la intención de este autor trascender la idea de que las contribuciones de Descartes, fueron inmediatamente después de Galileo, pues, muchas de sus ideas, inquietudes y reflexiones, se desarrollaron en paralelo a la vida del italiano, al igual que el alemán Johannes Kepler. En este mismo sentido, se reitera nuevamente que, los contextos socio-culturales de desarrollo, fueron similares entre ellos y, por lo tanto, de bastantes controversias y guerras.

Bibliografía

- ÁLVAREZ, J. El fenómeno de la caída de los cuerpos. **Revista mexicana de física E**. v.58, n.1, p. 36-40, 2012.
- AZCÁRATE, C. La nueva ciencia del movimiento de Galileo: una génesis difícil. **Enseñanza de las ciencias**. v. 2, n. 3, p. 203–208, 1984.
- BERNARDES, D. Princípio de inercia no Diálogo de 1632 e nos Discorsi de 1638 de Galileo Galilei. **Monografia** (Licenciatura em filosofia), Faculdade de Filosofia, Universidade de Brasília, 2011.
- BERRONE, L. Galileo y la génesis de la cinemática del movimiento uniformemente acelerado. **Llull**, v.24, p. 629-648, 2001.
- CAMINO, N. **Génesis y evolución del concepto de gravedad. Construcción de una visión de universo**. Tesis (Doctorado en Ciencias de la Educación), Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, Universidad Nacional de la Plata, 2006.
- CARVALHO, J.C.; MEDEIROS, A.S. **Astronomia: Interdisciplinar**. RN: EDUFRRN, 2007. 300p.
- CHATEL, P. **O castelo das estrelas: a estranha história de Ticho Brahe, astrônomo e grande senhor**. São Paulo: Nova Stella-Edusp, 1990. 309p.
- COHEN, B. **O nascimento de uma nova física**. São Paulo: Edart, 1967. 203p.
- CONTRERAS, J. Giordano Bruno “*el furioso*”. **Revista de Filosofía y Letras**, n. 65 – 66, p. 1-21, 2014.
- DRAKE, S. **Galileo’s Experimental Confirmation of Horizontal Inertia: Unpublished Manuscripts**. Galileo Gleanings XXII. In: JSTOR, 1973.
- FERNÁNDEZ, L. Las tablas astronómicas de Alfonso X El Sabio. Los ejemplares del Museo Naval de Madrid. **Anales de Historia del Arte**, n.15, p.29 – 50, 2005.
- KOESTLER, A. **Los sonámbulos**. D.F. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 1959. 581p.
- KOESTLER, A. **O homem e o universo**. São Paulo: Ibrasa, 1989, 426p.
- KOYRÉ, A. **Do mundo fechado ao universo infinito**. 4. ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2006. 156p.
- KOYRÉ, A. **Estudios Galileanos**. Madrid: Siglo veintiuno editores, 1980. 338p.
- MARTINS, R. Galileo Galilei, los climas, y la tradición del Tractatus de sphaera de Johannes de Sacrobosco. In: GARCÍA, P; MASSOLO, A. (eds.). Epistemología e Historia de la Ciencia. **Selección de Trabajos** de las XX Jornadas Facultad de Filosofía y Humanidades. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba, 2010. p. 373-380.
- MARTINS, R. Galileo e a Rotação da Terra. **Cadernos Catarinense de Ensino de Física**, v.11, n.3, p.196-211, 1994.
- MARTINS, R. Descartes e a impossibilidade de ações a distância. In: FUKS, S. (org.) **Descartes: um legado científico e filosófico**. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1997. p. 79-126.
- MARTINS, R. **História da Astronomia – Material de aula**. Grupo de História, Teoria e Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo, 2015.

- MARTINS, R. Palabras e imágenes en el Tratado de la Esfera de Sacrobosco: aditamento y conflicto. **Representaciones**, v. 4, n. 1, p. 67-92, 2008.
- MARTINS, R. **O Universo. Teorias sobre sua origem e evolução**. São Paulo: Livraria da Física, 2012. 228p.
- MARTINS, P. **Kepler. O legislador dos céus**. São Paulo: Livraria da Física, 2012. 321p.
- MARTINS, R. **A revolução copernicana** – Material de aula. Grupo de História, Teoria e Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo, 2015.
- MOURÃO, R. **Kepler a descoberta das leis do movimento planetário**. São Paulo: Odysseus, 2003. 240p.
- MOTZ, L; HANE, J. **The story of astronomy**. Cambridge: Parseus Publishing, 1995. 398p.
- PORTO, C.M; PORTO, M.B.D.S.M. Galileu, descartes e a elaboração do princípio da inércia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 4, p. 1-10, 2009.
- QUINTANILLA, M; SAFFER, G; IZQUIERDO, M; ADÚRIZ-BRAVO, A. Nicolás Copérnico desde una propuesta realista de la historia ciencia. In: QUINTANILLA, M; DAZA, S; CABRERA, H (Eds.). **Historia y Filosofía de la Ciencia. Aportes para una 'nueva aula de ciencias', promotora de ciudadanía y valores**. Barrancabermeja: Editorial Bellaterra, 2014, p. 305-321.
- SAFFER, G. Las leyes de Kepler. Una unidad didáctica desde la Naturaleza de las Ciencias para la Enseñanza de la Física. In: QUINTANILLA, M; KOPONEN, I. (Eds.). **Unidades Didácticas en Física y Matemáticas. Su promoción al Desarrollo de Competencias de Pensamiento Científico en la Enseñanza Media**. Santiago de Chile: Bellaterra, 2014, p. 57-83.
- TOSSATO, C.R. A astronomia e a cosmologia de J. Kepler. **Revista Primus Vitam**, n. 2, p. 1-9, 2011.
- TOSSATO, C. Discussão cosmológica e renovação metodológica na carta de 9 de dezembro de 1599 de Brahe a Kepler. **Scientiae.studia**, v.3, n.4, p. 537-565, 2004.
- TOSSATO, C. Os primórdios da primeira lei dos movimentos planetários na carta de 14 de dezembro de 1604 de Kepler a Mastlin. **Scientiae.studia**, v.1, n.1, p. 195-206, 2003.
- TOSSATO, C. A importância dos instrumentos astronômicos de Tycho Brahe para a astronomia e a cosmologia dos séculos XVI e XVII. In: IV SEMINÁRIO DE HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA, 2010, Ilhéus. **Anais IV Seminário de História e Filosofia da Ciência**, 2010. p. 1-3.
- VINATEA, E. **Memoria, Imaginación y Sabiduría**. Tesis (Doctorado en Filosofía), Facultad de Filosofía, Universidad Complutense de Madrid, 2005.
- ZANETIC, J. **Gravitação** – Notas de aula. Instituto de Física da Universidade de São Paulo, 1995.