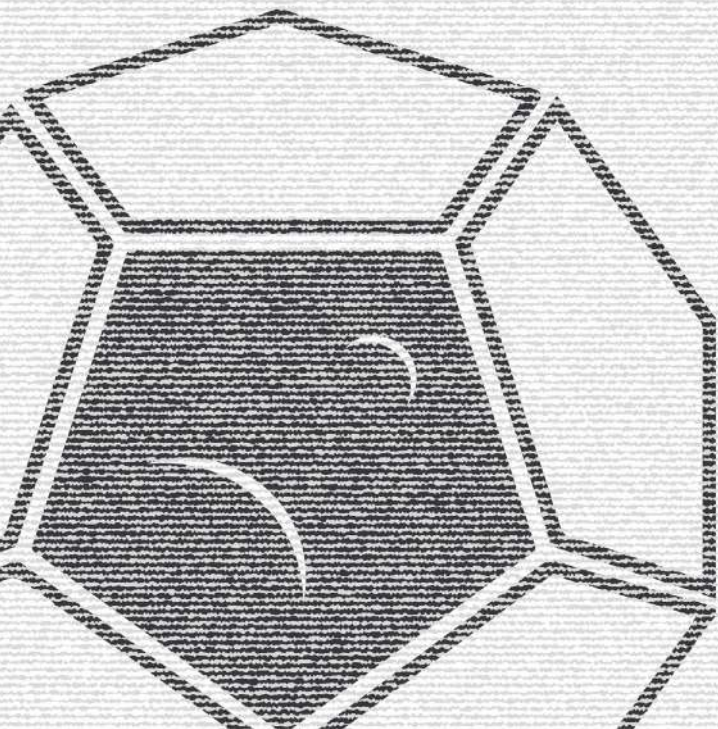


**Maximiliano Bozzoli
Luis Salvatico
David Merlo
(Eds.)**

**Epistemología e
Historia de la Astronomía
Volumen I**



Epistemología e Historia de la Astronomía

Volumen I

Maximiliano Bozzoli

Luis Salvatico

David Merlo

(Eds.)

Colecciones
del CIFFyH 

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

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-950-33-1721-1

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

CDD 520.3

Publicado por

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

Córdoba - Argentina

1º Edición


Área de
Publicaciones

Diseño de portadas: Manuel Coll y María Bella

Diagramación: María Bella

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

2023



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

Epistemología e Historia de la Astronomía

Volumen I



Autoridades de la FFyH - UNC

Decana

Lic. Flavia Andrea Dezzutto

Vicedecano

Dr. Andrés Sebastián Muñoz

Área de Publicaciones

Coordinadora: Dra. Mariana Tello Weiss

Centro de Investigaciones de la FFyH María Saleme de Burnichon

Dirección: Dr. Eduardo Mattio

Secretaria Académica: Lic. Marcela Carignano

Área Educación: Dra. Gabriela Lamelas

Área Feminismos, Género y Sexualidades: Lic. Ivana Soledad Puche

Área Historia: Dr. Pablo Requena

Área Letras: Dra. Florencia Ortiz

Área Filosofía: Dra. Guadalupe Reinoso

Área Ciencias Sociales: Dra. Cecilia Inés Jiménez

Índice



<i>A la memoria de Luis Salvatico</i>	13
Prólogo	15
Observaciones y clasificaciones en astronomía por <i>Maximiliano Bozzoli</i>	19
Consideraciones metodológicas sobre la Observación Astronómica por <i>Jesús H. Calderón</i>	43
¿Qué mirada sobre el mundo propondría la Didáctica de la Astronomía desarrollada en el Secundario de Argentina? por <i>Néstor Camino</i>	75
¿Por qué hay estrellas invisibles? Lecciones epistemológicas del debate entre Galileo y Kepler por <i>Alejandro Cassini</i>	91

Naturaleza disciplinar de la astrobiología por <i>Octavio Chon Torres</i>	111
Hacia un encuentro con una civilización extraterrestre: motivaciones y nuevas categorías epistemológicas por <i>José G. Funes, Catalina Peccoud y Viviana Polisena</i>	123
Entre códigos y conocimientos por <i>Xavier Huvelle</i>	137
Del universo de datos a los datos del universo. Notas epistemológicas sobre el uso de inteligencia artificial en astronomía por <i>Andrés A. Ilcic</i>	153
Kepler e o progresso científico por <i>Anastasia Guidi Itokazu</i>	173
Preservación de la memoria colectiva-científica, en la astronomía argentina, desde el Observatorio de La Plata por <i>Natalia Soledad Meilán, Yael Aidelman, Lydia Cidale, Roberto Gamén, Mónica López y Romina Peralta Pascual</i>	193
Aportes del Museo del Observatorio Astronómico a las Ciencias por <i>David C. Merlo, Verónica Lencinas, Santiago Paolantonio y Sofía Lacolla</i>	209
Paradojas en Cosmología por <i>Guadalupe Mettini</i>	227
Apuntes sobre los comienzos de la Astrofísica en la República Argentina por <i>Santiago Paolantonio</i>	241
Expertos en la oscuridad. Datos, archivos y cómo usarlos por <i>Julián Reynoso</i>	261

El joven Beck y la física teórica

por *Victor Rodríguez*

273

A participação do astrônomo brasileiro D'Almeida na missão científica francesa para observação do trânsito de Vênus em 1874: uma análise a partir da história cultural da ciência

por *Maria Romênia da Silva y André Ferrer Pinto Martins*

285

A física em disputa com a filosofia e a literatura: os dois primeiros anos de Guido Beck no Observatório Nacional Argentino

por *Antonio A. P. Videira*

303

A la memoria de Luis Salvatico

(1963-2022)

Oriundo de la ciudad de San Francisco en Córdoba, inició sus estudios universitarios en la Facultad de Matemática, Astronomía y Física (UNC), luego se licenció en la Escuela de Filosofía de la Facultad de Filosofía y Humanidades (UNC) y se doctoró en Filosofía de la Ciencia en la Universidad Nacional de La Plata.

Se desempeñó como director del Centro de Investigaciones “María Saleme de Burnichon” de la Facultad de Filosofía y Humanidades (UNC) desde el año 2011 hasta el año 2014, fue Secretario de Coordinación General de dicha Unidad Académica entre los años 2009 y 2011. Como docente de la Escuela de Filosofía de la FFyH, fue Profesor Titular de la materia Historia de la Ciencia II y reciente Coordinador del Área Lógico-Epistemológica. Formó parte del Comité Editorial de la Revista Epistemología e Historia de la Ciencia e integró el Comité Organizador de las renombradas Jornadas de Epistemología e Historia de la Ciencia. Como reconocido investigador en el área de la Historia de la Ciencia, participó con estudiantes a su cargo en las I Jornadas de Epistemología e Historia de la Astronomía (JEHA-I), formando parte en la edición del presente volumen.

Tanto el Comité Académico como el Organizador de las JEHA recuerdan a un entrañable profesor, amigo y colega, destacando su compromiso con la Universidad Pública y sus invaluable aportes en este ámbito académico.

*Maximiliano Bozzoli y David Merlo
(Editores)*



Prólogo

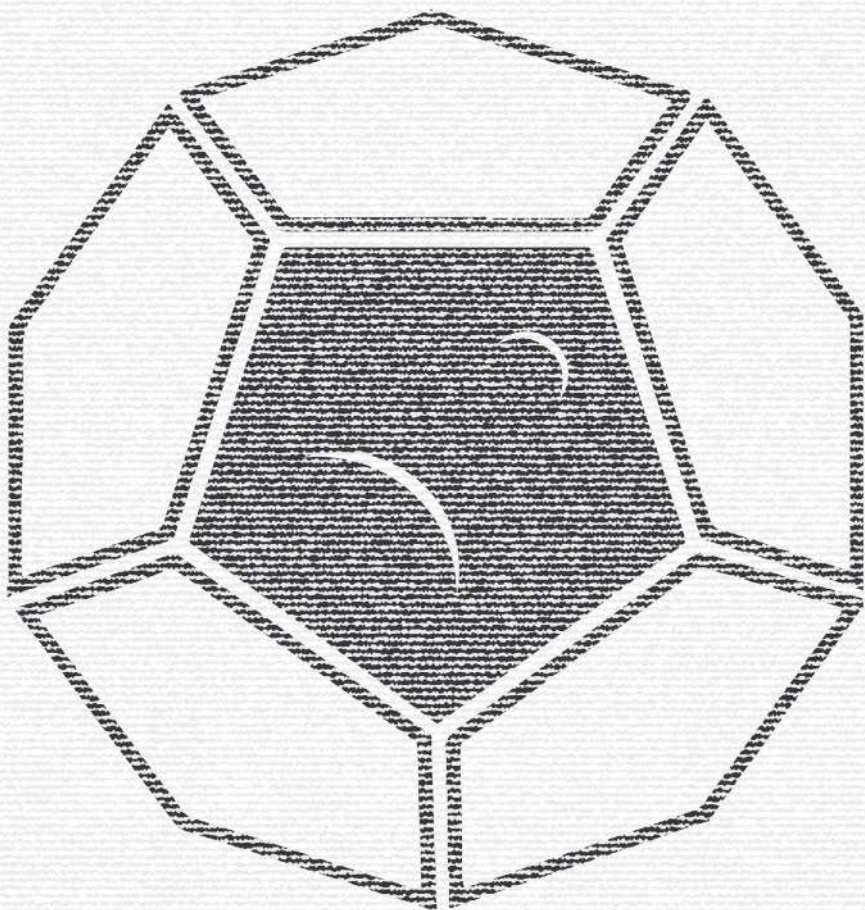
Nos complace presentar el *Volumen I* de *Epistemología e Historia de la Astronomía*, una selección de trabajos presentados en las Primeras Jornadas del mismo nombre (JEHA-I) que se desarrollaron de manera virtual entre el 1° y 3 de noviembre del año 2021. Esperamos que los artículos incluidos en este volumen contribuyan a la creación y consolidación de ámbitos específicos de trabajo interdisciplinario, cruzando intereses tanto por la astronomía como disciplina científica, como por la historia y la reflexión epistemológica, entre otras áreas afines.

Deseamos explicitar el proceso de evaluación al que fueron sometidos los escritos de este volumen, a fin de destacar el importante rol desarrollado por quienes estuvieron a cargo de esta ardua tarea. Los trabajos recibidos fueron enviados a evaluadores/as anónimos/as de acuerdo a las temáticas específicas de cada uno/a de ellos y de ellas. Cuando un trabajo era aceptado para publicar sin objeciones, o sólo con correcciones de estilo, los editores aceptamos este dictamen y solicitamos al autor/a realizar tales cambios. Cuando la evaluación sugería cambios en los contenidos y/o la estructura del trabajo, se le solicitaba al primer autor/a que realizara los cambios mencionados, siendo una de las tareas de los editores comprobar que las modificaciones sugeridas se hubieran realizado efectivamente. Aquellos trabajos que recibieron un primer dictamen desfavorable fueron enviados a una segunda evaluación anónima y, dependiendo de este dictamen, se siguió el proceso indicado anteriormente. Sólo los trabajos que recibieron dos evaluaciones desfavorables no fueron aceptados para ser publicados.

Debido a la amplitud temática y a la abundancia de perspectivas que cubren el conjunto de los artículos incluidos en este volumen, los editores confiamos en los dictámenes de los y de las evaluadores/as anónimos/as para solicitar las debidas correcciones y tomar las decisiones correspondientes acerca de la aceptación o el rechazo de los trabajos evaluados. Se resalta la importancia del sistema empleado, de revisión por pares (doble ciego), referido anteriormente. Asimismo, destacamos que todas las decisiones editoriales se tomaron a partir de consultas realizadas al Comité Académico de las JEHA-I, conformado por el Prof. Víctor Rodríguez, la Dra. Marisa Velasco, el Dr. Pío García, el Dr. Cristián Carman y el Mgter. Ing. Santiago Paolantonio. Los editores del presente volumen también destacan su trabajo en el proceso de evaluación.

Agradecemos el apoyo recibido por la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Córdoba y a la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica; la publicación de este volumen fue posible gracias al subsidio otorgado por esta última Institución. Asimismo, queremos agradecer a las autoridades del Observatorio Astronómico de la Universidad Nacional de Córdoba, a su ex Director Dr. Manuel Merchán y a la actual Directora Dra. Mercedes Gómez y al personal de la Biblioteca y del área de TIC, por el apoyo institucional y técnico y por su predisposición ante esta propuesta interdisciplinaria. Finalmente, agradecemos a las autoridades del Centro de Investigaciones “María Saleme de Burnichon” de la Facultad de Filosofía y Humanidades de la Universidad Nacional de Córdoba, en particular, a su Director Dr. Eduardo Mattio por el apoyo académico brindado y, nuevamente, a los y a las evaluadores/as anónimos/as por la tarea minuciosa y desinteresada que hicieron en cada uno de los trabajos de este volumen.

Dr. Maximiliano Bozzoli, Dr. Luis Salvatico, Dr. David Merlo
(Editores)





Observaciones y clasificaciones en astronomía

Maximiliano Bozzoli*

Resumen

Las prácticas taxonómicas de objetos naturales, a través de sus propiedades observables, conducen a problemas bien conocidos en ciencias como la física, la química o la biología. En la astronomía, los diversos sistemas o esquemas de clasificación empleados pueden ser organizados en tres grandes dominios o reinos: los planetas, las estrellas y las galaxias. En este trabajo, se mostrará que la parametrización vinculada a las diferentes prácticas clasificatorias depende no sólo de atributos intrínsecos, sino también de cualidades naturales extrínsecas. Estas últimas abarcan propiedades astrofísicas que se desprenden de una situación o hecho observacional en particular. A partir de la evolución que ha tenido el concepto de observación en las últimas décadas, se intentará brindar una noción de observabilidad que considera la escala y la perspectiva del observador. Ello permite un abordaje a las problemáticas taxonómicas asociadas a la identificación de estructuras y a la clasificación de fenómenos cosmológicos.

Palabras clave: *Prácticas astronómicas, observación, clasificación, simulación*

Abstract

Taxonomic practices of natural objects, through their observable properties, lead to well-known problems in sciences such as physics, chemistry or biology. In astronomy, different classification systems or schemes can be organized into three great domains or kingdoms: planets, stars and galaxies. In this article, it will be shown that the parameterization related to different classificatory practices depends not only on intrinsic attributes, but also on extrinsic natural qualities. These include astrophysical properties that emerge from a particular observational situation or event. Since the concept of observation has evolved significantly for the last decades,

* Centro de Investigaciones de la Facultad de Filosofía y Humanidades (UNC) – (CONICET).

an interesting notion of observability, which contemplates the scale and perspective of the observer, will be presented here. This way, taxonomic problems concerning the identification of structures and the classification of cosmological phenomena could be approached appropriately.

Keywords: *Astronomical practices, observation, classification, simulation.*

I. Introducción

Las prácticas taxonómicas de objetos naturales, a través de sus propiedades observables, conducen a problemas bien conocidos en ciencias como la física, la química o la biología. En la astronomía, algunos autores consideran que los diversos sistemas o esquemas de clasificación empleados pueden ser organizados en tres grandes dominios o reinos (*Three Kingdoms or 3K System*). Estos últimos comprenden la totalidad de los fenómenos astronómicos identificados y clasificados en la actualidad: los planetas, las estrellas y las galaxias (Dick, 2013, 2019). En esta dirección, existe cierta arbitrariedad al momento de estructurar los diferentes esquemas involucrados en tales dominios, según criterios consensuados por la misma comunidad a través de instituciones como la Unión Astronómica Internacional (IAU), por ejemplo.

No obstante, dicho sistema general (del tipo “paraguas”), además de servir como un auxiliar para fines pedagógicos y didácticos, provee una representación de los principios sistemáticos que subyacen en tal estructura ampliativa. Así, el primer paso para lograr que cada sub-sistema involucrado sea uno efectivo consiste en identificar los parámetros de clasificación más importantes, es decir, aquéllos que tengan significado físico. Conocer estos parámetros “claves” es crucial al momento de generar un esquema comprensivo que tenga la capacidad epistémica y que permita arrojar explicaciones y/o predicciones de los objetos bajo investigación.

Astrónomos como Martin Harwit (1981) prefieren hablar de clasificaciones de fenómenos, en vez de objetos, a través de parámetros físicos como la longitud de onda, la polarización de la luz, la resolución angular o espectral, entre otros atributos observables. En este sentido, los criterios que están por detrás de cada práctica empleada dependerán notablemente de los avances tecnológicos en el instrumental de observación disponible.

En la actualidad, la clasificación es una actividad que involucra no sólo a los astrónomos profesionales, sino que además incluye a los aficionados que colaboran en diversos proyectos taxonómicos de ciencia ciudadana (<https://zooinverse.org>).

La mayoría de los/as filósofos/as de las ciencias estaría de acuerdo en que los planetas, las estrellas y las galaxias están demasiado ausentes en las discusiones epistemológicas y reflexiones actuales sobre clases naturales y clasificaciones de entidades en ciencia. Por su parte, Stéphanie Rupy (2010) sostiene que el estudio de caso sobre las clases estelares conduce a dos problemáticas filosóficas bien conocidas e ineludibles: por un lado, el debate monismo/pluralismo, y por el otro, el debate realismo/antirrealismo. De acuerdo a este enfoque, las taxonomías estelares no parecen ser muy afines a un monismo metodológico, dado que hay múltiples maneras de clasificar según condiciones que permiten identificar diversos rasgos y propiedades observables de los objetos involucrados. En lo que respecta al “arte” de agrupar estrellas, esta autora presenta una serie de criterios de clasificación basados solamente en las propiedades físicas intrínsecas de estos objetos.

En este trabajo se mostrará que, en ciertos ámbitos de la astronomía observacional, la parametrización, vinculada a las diferentes prácticas de clasificación, depende no sólo de atributos intrínsecos, sino también de cualidades naturales extrínsecas. Estas últimas abarcan propiedades astrofísicas que se desprenden de una situación o hecho observacional en particular, o sea, de aquellos aspectos procesuales que configuran la misma observación, tales como condiciones iniciales y de contorno. Precisamente, a partir de la evolución que ha tenido el concepto de observación en las últimas décadas (Shapere, 1982; Kosso, 1988, 2006; Chang, 2004; Humphreys, 2004), se intentará brindar una noción de observabilidad que considere “dimensiones extras” a las sugeridas por otros autores, como la escala y la perspectiva del observador. Ello permitiría un abordaje a las problemáticas taxonómicas asociadas a la identificación de estructuras y a la clasificación de fenómenos cosmológicos.

II. Breve aproximación histórica

A continuación, se presentan algunas consideraciones generales de la propuesta de Dick (2013, 2019) concernientes a los diferentes esquemas de

clasificación en la astronomía contemporánea. A diferencia de las ciencias biológicas, en esta ciencia natural se reemplaza el mundo de lo viviente por objetos y fenómenos inanimados. Este autor cita al eminente astrónomo observacional y clasificador Allan Sandage, quien sostiene que uno de los primeros pasos de cualquier ciencia consiste en identificar y agrupar los objetos de su estudio. Así, si el sistema de clasificación propuesto es exitoso, se genera cierto “progreso” en tanto a un entendimiento más profundo de los procesos astrofísicos involucrados. De lo contrario, si el esquema es deficiente, el mismo impide tal comprensión. No obstante, los taxónomos que intentan realizar clasificaciones de objetos, desconocidos hasta ese momento, comienzan sin tener alguna idea clara del fenómeno observado. Más precisamente, el problema surge al momento de seleccionar los parámetros “clave” para establecer criterios de clasificación. Según Dick, este es uno de los mayores problemas que enfrentan los astrónomos en las diferentes prácticas de parametrización. Atribuir significado físico a dichos parámetros es crucial a la hora de elaborar un sistema de clasificación integral en los tres grandes reinos de la astronomía.

En esta dirección, como se mencionó en la introducción, los astrónomos prefieren establecer clasificaciones basadas en fenómenos y no sólo referirse a objetos. Ello permite asociar determinadas magnitudes físicas con propiedades o atributos observables, como la longitud de onda o la resolución espectral, de las diversas entidades bajo investigación. Recién a finales del siglo XIX y a principios del XX, las clasificaciones cobraron importancia en la astronomía de esa época. El cambio vino dado con el surgimiento de la astrofísica, en particular con la inserción de la espectroscopía y de la fotometría desde el entorno de la física experimental y luego con la inclusión de la fotografía desde el ámbito de la estética. Siguiendo a Dick, gracias a la implementación de estas nuevas técnicas pudo revelarse la naturaleza intrínseca de ciertos fenómenos astronómicos, los cuales no sólo eran ubicados en la bóveda celeste. De esta manera, las primeras taxonomías realizadas se centraron en el reino de las estrellas y su análisis espectral permitió conocer acerca de la composición química de las mismas, estableciendo así patrones correspondientes a cada tipo. Según este autor, cada estrella posee una “huella dactilar” única que revela su constitución y otros aspectos inherentes a sus propiedades físicas. Así, los factores comunes que comparte un grupo determinado de estrellas de-

fine un estándar, el cual determina cada familia en función de una clase espectral específica.

Durante este período de la astronomía contemporánea, se dieron a conocer una variedad de clasificaciones basadas en la técnica provista por la espectroscopía estelar. Sin embargo, algunos historiadores como David DeVorkin, sostienen que pasó medio siglo para que la comunidad astronómica de la época pueda consensuar entre los diferentes esquemas. Como resultado, fue ampliamente aceptado el sistema de clasificación elaborado por Edward Pickering del Observatorio de Harvard, conjuntamente con el catálogo de espectros estelares realizado por Henry Draper. Además, cabe destacar la importante labor de un grupo de trece mujeres de dicho observatorio, conocidas despectivamente como el “harén de Pickering”, quienes llevaron a cabo la ardua tarea de medir sistemáticamente el brillo, la posición y el color de las estrellas registradas en las placas fotográficas. La reducción de estas últimas, posibilitó la identificación y clasificación de más de doscientas cincuenta mil estrellas en siete tipos espectrales clásicos (no extendidos). No obstante, siguiendo a Dick, las clasificaciones no permanecieron estáticas por demasiado tiempo debido al desarrollo tecnológico en los sistemas instrumentales de la época. Tanto el poder resolvente de los grandes telescopios, como el alto grado de detección que ofrecían las nuevas placas fotográficas, permitieron así la generación de nuevos conocimientos en diferentes áreas de la astronomía observacional.

A principios de 1940, el Observatorio de Harvard propuso un nuevo esquema de clasificación estelar que consideraba, como parámetro clave, la luminosidad de las estrellas. La consideración de esta magnitud física como atributo o propiedad observacional resultó crucial en la elaboración del sistema de Yerkes. Este último también era conocido por las siglas de sus autores “MKK” (Morgan-Keenan-Kellman). Sin embargo, luego de varias revisiones, cambió curiosamente su nombre a “MK”, dejando fuera a la astrónoma Edith Kellman por su condición de género. Más allá del importante rol que ocupaban las llamadas “calculadoras humanas” en los observatorios de ese entonces, dichas investigaciones aportaron clases y sub-clases de luminosidad, correspondientes a los diferentes tipos de estrellas (supergigantes, gigantes brillantes, gigantes, sub-gigantes y enanas) observadas con los aparatos de esa época.

Paralelamente, otros esfuerzos taxonómicos se centraron también en el reino de las nebulosas, las cuales eran identificadas y clasificadas según

las estructuras difusas que presentaban como sus brazos en espiral, por ejemplo. Uno de los primeros esquemas que consideraba este tipo de parámetro morfológico fue el de Max Wolf en 1908. No obstante, este sistema fue dejándose de lado a medida que iba ganando adeptos la teoría de los universos isla, en particular aquellos que sostenían que las nebulosas en espiral eran, efectivamente, objetos extra-galácticos. Al margen de lo que representó el conocido “gran debate” de 1920, entre los astrónomos que abogaban a favor del modelo de la gran galaxia de Harlow Shapley y aquéllos que defendían con Heber D. Curtis dicha teoría, los sistemas de clasificación siguieron sofisticándose. Así, en 1926 Edwin Hubble presenta su primer esquema clasificatorio de las galaxias y en *The Realm of the Nebulae*, de 1936, son aceptadas sus ideas y parámetros morfológicos. De esta manera, con el surgimiento de la astronomía extragaláctica, el llamado diapasón de Hubble fue ampliamente aceptado por la comunidad astronómica [Fig. 1].

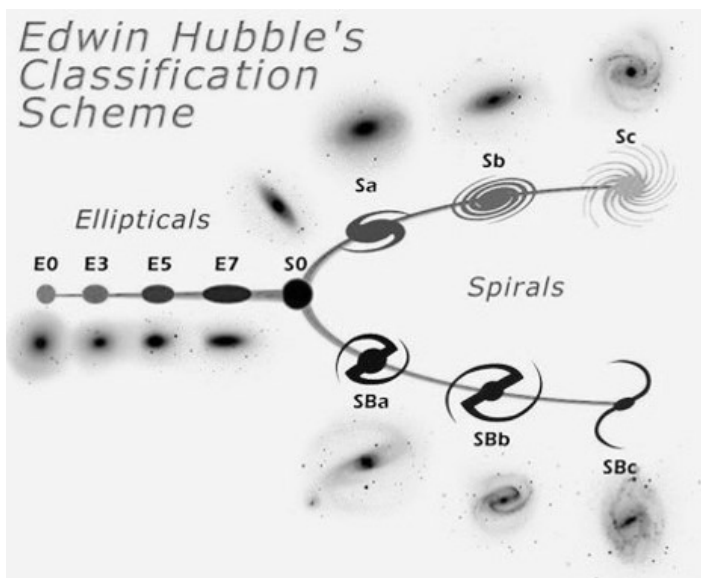


Figura 1. Esquema de clasificación que representa tres clases de galaxias según su morfología: (e) elípticas, (s) espirales y (sb) espirales barradas.

Fuente: Wikipedia.

Gracias a los avances tecnológicos de la fotografía y de los sistemas instrumentales, las prácticas supeditadas a tal desarrollo permitieron, posteriormente, que la secuencia de Hubble sea minuciosamente revisada y modificada. Según Dick, pese a que este esquema aún se usa en la actualidad, las investigaciones realizadas décadas después revelaron que el mismo no representa el desarrollo evolutivo de las galaxias. Sin entrar en mayores detalles técnicos, ello significa que las galaxias elípticas no devienen en espirales o barradas, sino que la fusión de estas últimas resulta en la formación de las primeras. Tanto para las galaxias, como así también para las estrellas, los sistemas de clasificación se desarrollaron en distintas direcciones, según criterios muy variados. Este autor sostiene que astrónomos como Knut Lundmark, Gerard De Vaucouleurs o Sidney van den Bergh propusieron modificaciones, extensiones y variantes del diapasón de Hubble. Algunas de ellas fueron ampliamente aceptadas y otras no. Incluso, esta problemática en torno a la generación de nuevos criterios taxonómicos en este reino puede llevarse aún más lejos (Sérsic, 1982). Al considerarse que se observan más galaxias irregulares que aquéllas que presentan rasgos morfológicos definidos, la cuestión parece estar sujeta a una “dialéctica” entre modelos de formación y evolución de galaxias e interpretación de los datos observacionales. En esta dirección, Halton Arp generó un catálogo de galaxias que presentan sólo estructuras peculiares. En su *Atlas of Peculiar Galaxies* de 1966, las galaxias fueron clasificadas según su apariencia, ya que se ignoraban los procesos físicos que causaban las diferentes formas observadas. Recientemente, gracias también a simulaciones computacionales, dichos procesos son bien conocidos, sobre todo, al momento de identificar galaxias interactuantes. De este modo, las inferencias logradas a partir de cada “instantánea” obtenida, permitió un entendimiento más claro de los procesos evolutivos involucrados en esta clase de fenómenos observados. Más allá de una eventual distinción entre conocimiento y entendimiento, Dick sostiene:

Es importante entender que la clasificación no implica necesariamente comprensión. Incluso mientras clasificaban, los astrónomos desconocían la verdadera naturaleza de los... objetos que veían a través de sus telescopios... Todavía no tenían idea de la escala del universo, ni de la interrelación de sus partes constituyentes a través de la evolución cósmica. (Dick, 2019, p. xxix)

En la actualidad, las prácticas taxonómicas no sólo involucran a astrónomos profesionales sino también a aficionados a la hora de clasificar galaxias en grandes bases de datos, como la provista por el telescopio *Sloan Digital Sky Survey*. El entrenamiento para la identificación, en proyectos de ciencia ciudadana como *Galaxy Zoo*, se logra a partir de ciertas habilidades cognitivas que permiten el reconocimiento de patrones visuales (visualización humana). De esta experiencia, en contraste, surge además la necesidad de emplear tecnología basada en inteligencia artificial con sistemas expertos de aprendizaje, asistidos o no (*machine-learning codes*), los cuales realizan clasificaciones a través de visualizaciones computacionales.

Dick presenta su cuadro de clasificación dividido en tres grandes dominios: los planetas, las estrellas y las galaxias. Este sistema general no intenta reemplazar la meticulosidad de los esquemas que incluye; su objetivo consiste en ordenar los fenómenos del cosmos de tal manera que sirva como un auxiliar didáctico y como una herramienta heurística para los astrónomos. Más allá de los consensos y estipulaciones de la comunidad astronómica, a través de instituciones como la *IAU*, el caso de si Plutón es o no un planeta del sistema solar es un ejemplo reciente y contundente. Aquí no se van a abordar cuestiones de este tipo. En palabras de J. L. Borges: "...notoriamente no hay clasificación del universo que no sea arbitraria y conjetural... La razón es muy simple: no sabemos qué cosa es el universo." (Borges, 1952, p. 123)

Sin embargo, Dick sostiene que lejos de ser "cierta enciclopedia china" borgiana, o más bien, el "emporio celestial de conocimientos benévolos", el sistema "paraguas" que él propone, sugiere que la unidad de clasificación se daría a partir de la observación de los objetos astronómicos a través de la identificación de sus propiedades. A diferencia de las fuerzas físicas fundamentales (como la fuerte, la débil y la electromagnética) la gravedad resulta ser el principio organizador principal de tal sistema de clasificación integral. Esta última interacción física es el factor determinante en la organización y en la estructura, a distintas escalas, de los fenómenos que acontecen en el universo observable [Fig. 2].

Kingdom of the Planets	Kingdom of the Stars	Kingdom of the Galaxies
Family: Protoplanetary Class P 1: Protoplanetary Disk Family: Planet Class P 2: Terrestrial (rocky) Class P 3: Gas Giant Class P 4: Ice Giant Class P 5: Pulsar Planet Family: Circumplanetary Class P 6: Satellite Class P 7: Ring Class P 8: Radiation Belt Family: Subplanetary Class P 9: Dwarf Planet Class P 10: Meteoroid Subfamily: Small Bodies of Solar System Class P 11: Minor Planet/Asteroid Class P 12: Comet Class P 13: Trans-Neptunian Objects Family: Interplanetary Medium Class P 14: Gas Class P 15: Dust Subfamily: Energetic Particles Class P 16: Solar Wind Class P 17: Anomalous Cosmic Ray Family: Systems Class P 18: Planetary Systems/Exoplanets Class P 19: Asteroid Groups Class P 20: Meteoroid streams Subfamily: Trans-Neptunian Systems Class P 21: Kuiper Belt Class P 22: Oort Cloud	Family: Protostellar Class S 1: Protostar Family: Star Subfamily: Pre-Main Sequence Class S 2: T Tauri Class S 3: Herbig Ae/Be Subfamily: Main Sequence (H burning - Luminosity Class V) Class S 4: Dwarf Class S 5: Subdwarf Subfamily: Post-Main Sequence (He burning and higher elements) Class S 6: Subgiant (Luminosity Class IV) Class S 7: Giant (Luminosity III) Class S 8: Bright Giant Class II Class S 9: Supergiant (Lumin. Class I) Class S 10: Hypergiant (Lumin. Class 0) Subfamily: Evolutionary Endpoints Class S 11: Supernova Class S 12: White Dwarf Class S 13: Neutron Star/Pulsar Class S 14: Black Hole Family: Circumstellar Class S 15: Debris disk Class S 16: Shell (dying stars) Class S 17: Planetary Nebula Class S 18: Nova Remnant Class S 19: Core Collapse Supernova Remnant Class S 20: Stellar Jet Class S 21: Herbig-Haro Object [See also Protoplanetary Disk (P 1); Planetary System, (P 18); Kuiper Belt (P 21); Oort Cloud (P 22)] Family: Substellar Class S 22: Brown dwarf Family: Interstellar Medium Subfamily: Gas (99%) Class S 23: Cool Atomic Cloud (H I) Class S 24: Hot Ionized Cloud (H II) Class S 25: Molecular Cloud (H2) Class S 26: White Dwarf Supernova Remnant Subfamily: Dust (1%) Class S 27: Dark Nebulae Class S 28: Reflection Nebulae Subfamily: Energetic Particles Class S 29: Stellar Wind Class S 30: Galactic Cosmic Rays Family: Systems Class S 31: Binary Star Class S 32: Multiple Star Class S 33: Association (OB) Class S 34: Open Cluster Class S 35: Globular Cluster Class S 36: Population	Family: Protogalactic Class G 1: Protogalaxy Family: Galaxy Subfamily: Normal Class G 2: Elliptical Class G 3: Lenticular Class G 4: Spiral Class G 5: Irregular Subfamily: Active Class G 6: Seyfert Class G 7: Radio Galaxy Class G 8: Quasar Class G 9: Blazar Family: Circumgalactic Class G 10: Satellites and Stellar Streams Class G 11: Galactic Jet Class G 12: Galactic Halo Family: Subgalactic Class G 13: Subgalactic Object Family: Intergalactic Medium Subfamily: Gas Class G 14: Warm Hot IGM Class G 15: Lyman alpha blobs Subfamily: Dust Class G 16: Dust Subfamily: Energetic Particles Class G 17: Galactic Wind Class G 18: Extragalactic Cosmic Rays Family: Systems Class G 19: Binary Class G 20: Interacting Class G 21: Group Class G 22: Cluster Class G 23: Supercluster Class G 24: Filaments & Voids

Figura 2. Los Tres Reinos (*3k system*) organizados en tres dominios, dieciocho familias y ochenta y dos clases. Créditos: S. Dick (2019).

III. Consideraciones filosóficas sobre clases naturales

¿Qué es una clase natural? Aunque aquí no se desarrollará en detalle esta problemática filosófica, sólo se mencionarán algunas de las propuestas más recientes, las cuales pueden, eventualmente, hallarse enfrentadas. La

mayoría de los tratamientos clásicos en filosofía de la ciencia han arrojado numerosos y valiosos aportes en ámbitos específicos de clases naturales¹. No obstante, estos enfoques no han proporcionado una teoría general que sea lo suficientemente exitosa para explicar y dar cuentas de los diferentes tipos de clases en los variados contextos de las prácticas científicas. Algunos autores sostienen que la pregunta inicial hay que descomponerla en dos: ¿qué distingue a las clases naturales de aquéllas que no lo son? y ¿cuántas formas distintas hay de clases naturales? Según Barberousse (2020), hay diferentes respuestas a tales interrogantes, o sea, desde una perspectiva estrictamente filosófica, desde otra que distinga y relacione aspectos ontológicos y epistemológicos y, por último, desde caracterizaciones tanto científicas como vernáculas.

La mayoría de los abordajes filosóficos sobre clases naturales reconocen que muchas de las categorías utilizadas, tanto en los lenguajes naturales como científicos, no tienen el mismo estatus epistémico. Esto significa que algunas de ellas hacen referencia a agrupaciones naturales de objetos, los cuales están dotados de atributos o cualidades que permiten que tales categorías sean útiles tanto en la ciencia como en el entorno de la vida cotidiana. De esta manera, dichas agrupaciones permiten inferir nuevas propiedades a partir de las regularidades observadas en ciertos objetos en un ámbito de fenómenos específico. Sin embargo, pese a la riqueza epistémica de las inferencias inductivas logradas, la categorización puede ser arbitraria y consensual. Así, los miembros de una clase natural sólo poseen propiedades comunes que la definen, como el agua o el oro. En esta dirección, el relato esencialista (Putnam, 1975; Kripke, 1980) sostiene que las clases naturales se definen por un conjunto de propiedades micro-estructurales, posiblemente desconocidas. Sin embargo, siguiendo a Barberousse, otras perspectivas aluden a la incapacidad que tiene este enfoque al momento de dar sentido a clasificaciones en el reino de las especies biológicas. Desde este punto de vista, hay un conjunto de propiedades homeostáticas o de autorregulación, las cuales no necesariamente se comparten microscópicamente. Este planteamiento sostiene que cada clase natural posee un grupo de propiedades que funcionan, para mantenerse

1 Para un examen más exhaustivo sobre esta cuestión, se recomienda al lector/a acudir a la siguiente entrada de la *Stanford Encyclopedia of Philosophy*: <https://plato.stanford.edu/entries/natural-kinds/#NatuKindReal>

y reforzarse mutuamente, frente a los cambios en su entorno; incluso las mismas no necesitan estar presentes en todos los miembros de una clase.

De esta manera, Barberousse sostiene un enfoque naturalista, no reduccionista, al que denomina “transversal”. En este sentido, los distintos ámbitos de fenómenos de las ciencias (como los de la psicología o de la biología) no deben reducirse unos a otros. Además, los términos y los conceptos que aluden a clases naturales, como nebulosa o galaxia, pueden referirse a una clase de entidades que constituyen algún tipo de unidad, aunque se desconozca sobre éstas y la concepción dominante sea errónea. Así, la referencia no es necesariamente una imagen precisa del concepto, pudiendo diferir significativamente de la misma clase en cuanto a la descripción atribuida por tal noción. Según este autor, no se puede tomar la referencia y el concepto como dos caras de una misma moneda. Ningún análisis entre lenguaje y clases naturales esclarece la cuestión sobre lo que son estas últimas y, menos aún, el análisis conceptual que tiende a equiparar nociones con dichas clases. A diferencia de Chang (2016), quien entiende que las palabras “clase” y “clase natural” son usadas sólo para designar conceptos clasificatorios, Barberousse sostiene que tanto las categorías científicas como las vernáculos se corresponden, efectivamente, a clases de entidades. Así, este último autor cuestiona qué criterios distinguen las clases naturales de aquéllas arbitrarias y porqué algunas, y no otras, comparten ciertas características y rasgos comunes del mundo físico. Sus argumentos son dados desde una perspectiva puramente ontológica que toma bajo consideración el importante rol de las diferentes prácticas epistémicas, tanto cotidianas como científicas. Dadas las diferencias de grado entre dichas categorías, en cuanto a la capacidad de realizar inferencias ampliativas, la riqueza inductiva se desarrolla, principalmente, en el ámbito del conocimiento científico. De esta forma, el enfoque transversal propuesto (Barberousse et al., 2020) intenta escapar de cualquier inconsistencia presente en el sofisticado “arte” de la clasificación.

Cuestionando esta línea de investigación, Ruphy (2010) analiza el hecho de si las clases estelares son, efectivamente, clases naturales de objetos. Ella sostiene que el estudio sobre los tipos estelares conduce a dos problemáticas filosóficas bien conocidas e ineludibles: por un lado, el debate monismo/pluralismo, y por el otro, el debate realismo/antirrealismo. Las taxonomías de las estrellas no parecen ser muy afines a un monismo metodológico, dado que hay múltiples maneras de clasificar según condicio-

nes que permiten identificar diversos rasgos y atributos observables de los objetos involucrados. Como se dijo en la introducción, el “arte” de agrupar estrellas, presenta así una serie de criterios basados sólo en las propiedades físicas o cualidades intrínsecas de dichos objetos. De este modo, tales esquemas contemplan diferentes magnitudes de la estructura estelar como la masa, la temperatura, la densidad, entre muchas otras. Estos aspectos físicos definen un estándar que sirve para agrupar aquellos fenómenos que exhiben características similares.

Ruphy destaca así la importancia del rango espectral en el que se observan determinadas propiedades estelares, a través de las cuales se identifican rasgos comunes como invariantes visuales, por ejemplo. Además, estos criterios clasificatorios consideran la resolución de las observaciones, la vaguedad en la continuidad de algunos parámetros entre clases y la dependencia temporal la cual posibilita que determinados objetos migren de una clase a otra. Esta autora caracteriza cinco aspectos de las prácticas taxonómicas a la hora de identificar y agrupar estrellas, según parámetros de similitud:

i. Estructura estelar: son aquellas propiedades intrínsecas de las estrellas (no su movimiento propio, por ejemplo) que, a través de un estándar, son seleccionados los parámetros similares que son relevantes. ¿Pero cuáles? Se privilegia sólo aquéllos que definen agrupaciones epistémicamente fructíferas, es decir, que se prestan a generalizaciones y predicciones y que desempeñan un rol crucial en las explicaciones causales de estos objetos.

ii. Dependencia de la longitud de onda: se refiere al desarrollo de sistemas de clasificación basados en regiones variadas del espectro electromagnético.

iii. Dependencia de la resolución: dado que la mayoría de los parámetros estructurales varían de una estrella a otra, para un conjunto dado de parámetros, la similitud dependerá de la precisión de las observaciones.

iv. Vaguedad: como consecuencia directa de la continuidad de parámetros estructurales (como la temperatura o la densidad) en las re-



laciones de similitud entre dos estrellas, los tipos estelares no tienen límites definidos.

v. Nomadismo taxonómico: se da cuando las propiedades intrínsecas, en las cuales se basan las clasificaciones, son propiedades transitorias inherentes a la evolución estelar. Así, estas fases evolutivas son comparadas con otras de la misma clase.

Para las cinco categorías, los parámetros privilegiados permiten conocer cómo se forman, evolucionan y desaparecen las estrellas. Según Ruffy, la comprensión teórica es importante al momento de la selección y el ajuste de parámetros astrofísicos intrínsecos, propios de los procesos evolutivos estelares y no así los extrínsecos como la distancia, por ejemplo. Estos rasgos representan un pluralismo en las clasificaciones estelares donde las cualidades intrínsecas de los objetos pueden ser similares y, sin embargo, diferir significativamente con otros atributos físicos. Así, las diferentes técnicas de investigación que se centran en distintas propiedades estructurales generan clasificaciones transversales. Esta autora sostiene que las condiciones apropiadas de pertenencia a una clase son aquellos aspectos estructurales que hacen posible un ámbito para la justificación y la explicación de los objetos observados. Ahora, ¿las clases estelares son clases naturales?, la respuesta es un rotundo no. Luego de descartar la posibilidad de un monismo taxonómico, ella cuestiona un monismo metafísico donde los parámetros privilegiados aluden a propiedades esenciales.

Este enfoque esencialista es más fuerte que el realista, ya que no sólo existen similitudes (independientes de la mente humana), sino que la naturaleza viene empaquetada con estructuras esenciales. Ello es insostenible a la luz de que las clases no tienen límites definidos y un mismo objeto puede pertenecer a varias, al estilo del nomadismo. El hecho de que las clases estelares no tengan límites exactos es incompatible con cualquier monismo metafísico. Por esta razón, la perspectiva realista también es inadecuada dado que ciertos atributos intrínsecos, como la temperatura o la densidad, si bien son parámetros estructurales (no convencionales o arbitrarios), varían continuamente sus magnitudes físicas de un objeto a otro. Ello involucra cierta vaguedad al criterio de clasificación empleado, aunque no necesariamente a la interpretación realista del modelo de evolución estelar tomado bajo consideración. Más allá de este nivel, al

situar tal debate en el plano estrictamente epistemológico, la discusión realismo/antirrealismo se desplaza a la problemática de distinguir y clasificar entidades observables y entidades inobservables. No es el objetivo aquí desarrollar este debate; sin embargo, cabe destacar cómo el mismo puede restringirse al centrar la discusión entre propiedades observables y propiedades inobservables. Lo que se intenta remarcar en este punto es la fuerte dependencia de las cualidades o atributos físicos, tanto intrínsecos como extrínsecos, en la caracterización de la observabilidad. Precisamente, se considera que la misma noción de observación no sería viable si no se tienen en cuenta las propiedades observables e inobservables de una entidad. Como se hará notar más abajo, en el estudio de caso considerado, ambas propiedades resultan cruciales al momento de clasificar estructuras en el universo a diferentes escalas.

IV. Consideraciones filosóficas sobre la observación

Uno de los objetivos principales de la astronomía contemporánea consiste en tratar de recolectar la mayor cantidad de información proveniente de la diversidad de fenómenos observados en el universo. Actualmente, es sabido que la naturaleza física de la señal que transporta esta “información” puede variar. Sin embargo, la observación astronómica se ha apoyado básicamente, a través de los siglos, en la radiación electromagnética. No obstante, los astrónomos también adquieren información observacional a través del estudio de diferentes señales que les llegan, las cuales están basadas en otras interacciones físicas fundamentales. De este modo, por ejemplo, las investigaciones en torno de los rayos cósmicos, de los neutrinos o de las ondas gravitacionales van más allá del alcance de la astronomía observacional tradicional (Bradt, 2004).

Ciertamente, resulta claro notar cómo se ha desarrollado, desde hace décadas, la noción de observación astronómica. La evolución de este concepto no solo ha sufrido cambios considerables dentro de esta disciplina científica, sino también en el entorno de su propia reflexión. Desde la perspectiva de la filosofía de la ciencia clásica, la observabilidad ha sido caracterizada a partir de la dicotomía entre entidades observables y entidades inobservables. Autores como Maxwell (1962) han sostenido que no hay un criterio de distinción que sea lo suficientemente robusto y, en consecuencia, proponen la idea de un “continuo” entre tales entidades.

Otros, en cambio, se alejan de esta distinción y proponen diferentes caracterizaciones, sensibles a las prácticas científicas:

...lo que cuenta como una observación es una función del estado prevaleciente del conocimiento acerca del mundo físico, y puede modificarse conforme cambia ese conocimiento...el conocimiento físico prevaleciente especifica qué cuenta como un receptor apropiado, qué cuenta como información, los tipos de información que existen, las formas en las cuales se transmite y recibe esa información, y el carácter y las clases de interferencia así como las circunstancias y la frecuencia con la que ésta ocurre. (Shapere, 1982, pp. 492)

Desde esta perspectiva, observar es captar la señal física emitida por la fuente hasta un receptor adecuado que transforma el contenido transmitido de tal señal en información accesible a los seres humanos. La observación depende así del conocimiento disponible de la fuente astrofísica, de la transmisión de su señal y de la recepción apropiada de la misma. De esta manera, Shapere sostiene que una *situación de observación* está compuesta por tres elementos entremezclados, a los cuales él llama: la teoría de la fuente, la cual se refiere a la emisión de la información por la entidad que la produce, la teoría de la transmisión de esa información y finalmente la teoría del receptor de dicha información. El conocimiento preestablecido en cada uno de estos tres ámbitos hace referencia a distintas interacciones físicas fundamentales como la gravedad o la luz, por ejemplo. Ello permite la construcción de diferentes modelos que arrojan predicciones y explicaciones precisas tanto de los fenómenos y acontecimientos astrofísicos bajo investigación, como de aquellas actividades relacionadas al diseño instrumental y al entorno observacional/experimental.

Propuestas como las de Kosso (1988, 2006) sugieren hacer hincapié en los procesos involucrados en la obtención de la información observacional. Al identificar y distinguir las diversas formas en las cuales se puede alcanzar tal información, puede notarse que la observabilidad está vinculada a interacciones que no son solamente físicas. Dado que la transferencia y la adquisición de la información son resueltas a través del uso de modelos específicos, este autor sostiene que la observabilidad posee además “dimensiones” que representan las diversas formas en las que se puede lograr un conocimiento confiable del mundo físico. Estas dimensiones, como la intermediación entre un objeto y un observador, o lo directo

e indirecto de la percepción sensible, o bien la cantidad e independencia de interpretación de la información, tienen asociados diferentes grados de libertad. Estos parámetros permiten evaluar la observabilidad de aquellos objetos físicos, y de sus respectivas propiedades, involucrados en una situación observacional sofisticada. Este enfoque distingue entre la naturaleza de la señal transmitida y la señal como transporte de la información. De esta forma, Kosso hace referencia tanto a procesos causales como a aquéllos epistémicos, propios de las prácticas, los cuales están presentes en el contenido de los reportes observacionales. Así, la disponibilidad de la información relevante, sobre aspectos teóricos y metodológicos, resulta necesaria para interpretar los datos y metadatos referidos a los distintos niveles procesuales involucrados. Un claro ejemplo sobre esta cuestión es el rol actual que cumplen los observatorios virtuales, como grandes repositorios de información astronómica, los cuales proveen a la comunidad servicios para su análisis.

Por otro lado, la observabilidad es también caracterizada a partir de propiedades observables cualitativas y/o cuantitativas vinculadas no sólo a objetos concretos, sino además a procesos físicos relacionados a fenómenos muy variados. En esta dirección, Chang (2004, 2005) sostiene que los instrumentos y auxiliares de observación pueden ser considerados como detectores de propiedades. Si bien Kosso sostiene que la observabilidad está vinculada a los atributos o propiedades cuantificables, Chang considera que en este enfoque hay aún una fuerte dependencia de los objetos físicos. Según este último autor existen numerosas observaciones que no están vinculadas a objetos particulares. Así, observar consiste en realizar mediciones de cantidades determinadas, mediante el empleo de aparatos, que no poseen una referencia directa a los objetos involucrados en una situación observacional dada. Chang menciona el caso del descubrimiento de la radiación infrarroja, a principios del siglo XIX, por William Herschel como un ejemplo esclarecedor. Según Chang, en tales casos, el registro de las propiedades medidas hace que las observaciones sean igualmente significativas y coherentes, incluso sin el conocimiento y la presuposición de uno o más objetos específicos implicados. Además, él sostiene que, a partir de la percepción visual del registro de ciertas propiedades observadas, se puede construir un nuevo concepto inherente a éstas, o bien, reconstruirse uno ya existente. Un ejemplo que ilustra esto último resulta

del análisis de cómo a partir de las sensaciones de frío y de calor puede elaborarse la noción de temperatura.

En contraste, Humphreys (2004) sostiene que la información perceptual directa de lo observable no siempre es una manera viable, ya que muchos observables pasan a ser inobservables debido a que simplemente dejaron de “existir”, o sea, cuando las creencias epistémicas asociadas a ellos han sido abandonadas. Según este autor, la cuestión no proviene del estatus intrínseco de lo que es o no es observable, sino de cómo los detectores son empleados para garantizar el conocimiento adquirido. Si bien, ningún método de detección es completamente confiable, la superioridad de los instrumentos frente al aparato sensorial humano es ampliamente aceptada. Él considera que una propiedad u objeto no observado se mueve de los límites entre lo inobservado a lo observado, y no a lo largo de la línea entre lo observable y lo inobservable. Así, una entidad inobservada en un momento dado, puede hallarse en otro, disponible para su inspección directa. En consecuencia, el uso de distintos sistemas de observación, justifica las afirmaciones acerca de aquéllas entidades que han permanecido ocultas. Por ello, las diversas plataformas instrumentales son capaces de establecer relaciones entre los observadores y ciertos atributos que presentan los objetos físicos, no sólo mediante la detección de propiedades cuantificables, sino a través de la percepción cualitativa.

Debido a que tales propiedades causan determinados efectos físicos en el sistema instrumental, haciendo posible la detección y su registro permanente, los procesos causales asociados a la producción de datos permiten generar una representación visual, la cual es epistémicamente accesible. Lejos de una distinción entre datos instrumentales o crudos y datos observacionales, las interpretaciones de estas imágenes consisten en conocer no sólo el ámbito de fenómenos que representan, sino además saber la forma en la cual se producen. Siguiendo a Humphreys, sólo aquellas propiedades detectadas por los aparatos y piezas de equipo son observadas. En consecuencia, podría afirmarse que los objetos son observados únicamente a través de sus atributos o cualidades físicas. Así, los diversos mecanismos de producción de datos proveen tanto el respaldo epistémico como el soporte evidencial que justifica las inferencias de lo observado a lo inobservado. Según Humphreys (2013), la observación se daría a través de las relaciones y correlaciones entre propiedades tanto observacionales como simulacionales, pero estas cuestiones no se tratarán aquí.

V. El rol de la perspectiva y la escala de observación

Así como las estrellas se agrupan en cúmulos estelares (abiertos o cerrados) y constituyen las galaxias, éstas últimas también se aglomeran conformando distintos sistemas (grupos y cúmulos). De igual manera, los cúmulos de galaxias se asocian conformando sistemas aún mayores conocidos como supercúmulos. Estas estructuras a gran escala son identificadas y clasificadas. Las observaciones, a diferentes escalas, de ciertos movimientos de las galaxias permitieron identificar a *Laniakea* (cielos inconmensurables, en idioma hawaiano) como uno de los sistemas más grandes observados hasta el momento (Tully et al., 2014). Este fenómeno es uno de los componentes básicos de las estructuras (filamentos, láminas y vacíos) que conforman la red cósmica. A fin de tener una leve idea de las escalas involucradas, siguiendo a Libeskind y Tully (2016), la Tierra es el tercer planeta del sistema solar; el Sol se halla en el extremo de uno de los brazos en espiral de nuestra galaxia, la Vía Láctea. Esta última conforma el “Grupo Local”, con la galaxia de Andrómeda y otras vecinas como las Nubes de Magallanes (mayor y menor). Este grupo, de cincuenta galaxias aproximadamente, abarca unos siete millones de años luz y se ubica en la periferia del cúmulo de Virgo, el cual agrupa a más de mil galaxias y conforma una estructura de unos cincuenta millones de años luz. A su vez, este último constituye una pequeña parte del “Supercúmulo Local”, conformado por centenares de grupos de galaxias distribuidos en más de cien millones de años luz. Estos astrónomos afirman que tal súper-estructura era la más grande hasta el momento. Ello se debía a que el universo (a esta escala de observación) revelaba cierta homogeneidad, sin rasgos distintivos a escalas mayores. No obstante, en 2014, se descubrió que dicha súper-estructura era un lóbulo de otra aún mayor compuesta por cien mil galaxias distribuidas en unos cuatrocientos millones de años luz.

A partir del estudio dinámico de *Laniakea*, se determinó el flujo en el campo de velocidades peculiares de las galaxias observadas en “cuencas de atracción” [Fig. 3].

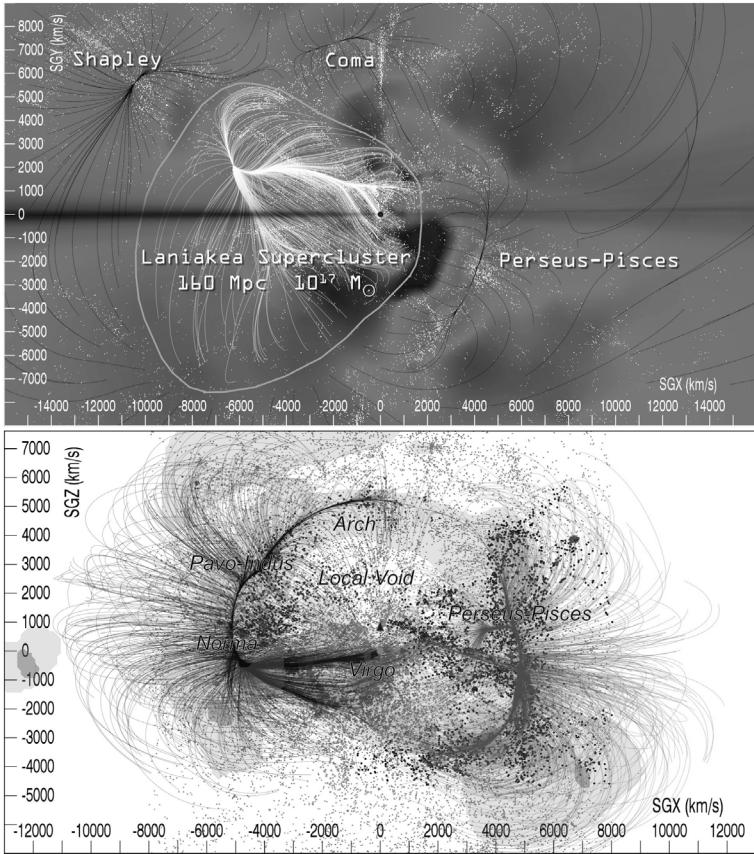


Figura 3. Contorno del Supercúmulo *Laniakea*, a través de una visualización de la base de datos *Cosmicflows 2* (arriba). Representación de las estructuras y evidencia de los flujos galácticos (abajo).
Créditos: *Nature* - Tully et al. (2014).

Para ello, se empleó el telescopio de sondeo panorámico y de respuesta rápida *Pan-STARRS*, por sus siglas en inglés. Este instrumento es operado por el Instituto de Astronomía de la Universidad de Hawái, el cual elaboró dos catálogos de galaxias llamados *Cosmicflows 1* y *2*. Estas bases de datos detallaron, en 2008, la dinámica de mil ochocientas galaxias a una distancia de ciento treinta millones de años luz; en 2013, se midieron los

trones, es decir, identificar y clasificar nuevas estructuras. Así, las limitaciones impuestas por la situación observacional, como la perspectiva y la escala, son parámetros claves o privilegiados que no se atribuyen intrínsecamente, sino extrínsecamente, a los fenómenos cosmológicos. En esta dirección, Hélienè Courtois (2019), coautora de las investigaciones de Tully (2014), propone generar un nuevo catálogo simulado de galaxias (*Cosmicflows 3*), el cual permite la validación entre modelos de datos, tanto observacionales como simulacionales. Estos últimos facilitarían las cualidades externas de las diferentes formaciones de estructuras a gran escala del universo observable, como se ve en el proyecto *Constrained Local Univers E Simulations (CLUES)*.

VI. Conclusiones

En ciertos ámbitos de la astronomía observacional, la parametrización vinculada a las diferentes prácticas de clasificación depende no sólo de atributos intrínsecos, como las relaciones empíricas mencionadas arriba, sino también de cualidades extrínsecas. Estas últimas abarcan propiedades físicas que se desprenden de una situación observacional específica, es decir, de aquellos aspectos procesuales que configuran la misma observación, tales como la tasa de expansión del universo o la densidad de la materia contenida en él.

Más allá de los condicionamientos establecidos por los parámetros cosmológicos, *Laniakea* es un fenómeno que posee una extensión aproximada de unos quinientos veinte millones de años luz, el cual contiene en su interior la mayoría de las estructuras. Debido a esta jerarquía, su caracterización depende profundamente de la perspectiva y de las escalas alcanzadas por un observador que se halla inmerso en él. Estas dimensiones influyen notablemente en la observación, en cuanto a la posibilidad de identificar y clasificar sus elementos constituyentes. Precisamente, las caracterizaciones de las entidades observadas cambian, conforme varían las escalas de observación. Así, estas últimas están desacopladas del tamaño del objeto en sí y por ello se las considera como una propiedad extrínseca, al igual que la perspectiva única del observador en una única diversidad observada. Dichas propiedades son mutuamente dependientes y relacionales, ya que aluden a las posiciones espaciales asociadas a diferentes objetos y a los vínculos temporales con distintos eventos.

Por otra parte, cabe destacar además el importante rol que ocupa la computación en los laboratorios astronómicos; en particular, a través de modelos de simulación se elaboran catálogos de galaxias sintéticos (*mock catalog*), los cuales intentan -entre otras funciones epistémicas- reproducir las observaciones convencionales. Para ello, se consideran aquellas condiciones que moldean el mismo hecho observacional. De esta manera, al examinar el espacio de parámetros, como por ejemplo la perspectiva del observador, se trata de lidiar con los “efectos de proyección”, entre otras limitaciones observacionales.

Por último, a partir de la evolución que ha tenido el concepto de observación en las últimas décadas de la astronomía, se ha intentado brindar una noción de observabilidad que considere parámetros clave o “dimensiones extras” a las sugeridas por otros filósofos. Así, se mostró la necesidad de incorporar propiedades o atributos extrínsecos como la escala y la perspectiva del observador tanto en los modelos observacionales, como computacionales. Ello ha permitido un abordaje a las problemáticas taxonómicas asociadas a la identificación y clasificación de estructuras a gran escala en el ámbito de los fenómenos del tercer reino.

Agradecimientos

Se agradece al Comité Académico de las Primeras Jornadas de Epistemología e Historia de la Astronomía (JEHA-I) y, particularmente, a los minuciosos comentarios y notables sugerencias de los/as evaluadores anónimos/as. Sin estos valiosos aportes, no hubiera sido posible realizar las correcciones del presente artículo.

Referencias

Arp, A. (1966). *Atlas of Peculiar Galaxies*. California: California Institute of Technology.

Barberousse, A. et al. (2020). “Natural kinds: a new synthesis”. *Theoria. An International Journal for Theory, History and Foundations of Science*. Vol. 35, No. 3, pp. 365-387.

Borges, J. L. (1952). *Otras Inquisiciones*. Buenos Aires: Sur.



- Bradt, H. (2004). *Astronomy Methods: A Physical Approach to Astronomical Observations*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Chang, H. (2004). *Inventing Temperature: Measurement and Scientific Progress*. Oxford: Oxford University Press.
- Chang, H. (2005). "A Case for Old-Fashioned Observability, and a Reconstructed Constructive Empiricism". *Philosophy of Science*. Vol. 72, No. 5, pp. 876-887.
- Chang, H. (2016). "The rising of chemical natural kinds through epistemic iteration". *Natural kinds and classification in scientific practice*. C. Kendig (Ed.), pp. 33-47. London: Routledge.
- Courtois, H. (2019). *Finding our Place in the Universe: How We Discovered Laniakea-the Milky Way's Home*. London: MIT Press.
- Dick, S. J. (2013). *Discovery and Classification in Astronomy. Controversy and Consensus*. New York: Cambridge University Press.
- Dick, S. J. (2019). *Classifying the Cosmos. How We Can Make Sense of the Celestial Landscape*. Switzerland: Springer.
- Harwit, M. (1981). *Cosmic Discovery: The Search, Scope and Heritage of Astronomy*. New York: Basic Books.
- Hubble, E. P. (1936). *The Realm of the Nebulae*. London: Oxford University Press.
- Humphreys, P. (2004). *Extending Ourselves: Computational Science, Empiricism, and Scientific Method*. Oxford: Oxford University Press.
- Humphreys, P. (2013). "What are Data About?". *Computer Simulations and the Changing Face of Experimentation*. J. Durán and E. Arnold (Eds). Cambridge: Cambridge Scholars Publishing.

- Kosso, P. (1988). "Dimensions of Observability". *The British Journal for the Philosophy of Science*. Vol. 39, No. 4, pp. 449-467.
- Kosso, P. (2006). "Detecting Extrasolar Planets". *Studies in History and Philosophy of Science*. Vol. 37, pp. 224-236.
- Kripke, S. (1980). *Naming and Necessity*. Oxford: Basil Blackwell.
- Libeskind, N.; Tully, R. B. (2016). "Our Place in the Cosmos". *Scientific American*. Vol. 315, No. 1, pp. 32-39.
- Maxwell, G. (1962). "The ontological status of theoretical entities". *Scientific Explanation, Space, and Time: Minnesota Studies in the Philosophy of Science*. Vol. 3, pp. 181-192. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Putnam, H. (1975). "The Meaning of "Meaning". Language, mind, and knowledge". *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*. Vol. 7, pp. 131- 193.
- Ruphy, S. (2010). "Are Stellar Kinds Natural Kinds? A Challenging Newcomer in the Monism/Pluralism and Realism/Antirealism Debates". *Philosophy of Science*. Vol. 77, pp. 1109-1120.
- Sérsic, J. L. (1982). *Extragalactic Astronomy: Lecture Notes from Córdoba*. Dordrecht: Springer.
- Shapere, D. (1982). "The concept of observation in science and philosophy". *Philosophy of Science*. Vol. 49, No. 4, pp. 485-525.
- Tully, R. B. et al. (2014). "The Laniakea supercluster of galaxies". *Nature*. Vol. 513, pp. 71-81.



Consideraciones metodológicas sobre la Observación Astronómica

Jesús H. Calderón*

Resumen

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

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

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

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

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

Abstract

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

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

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

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

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

Introducción

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

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

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

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

Los ojos tienen un complejo sistema óptico que genera imágenes, para “ver” éstas, nuestros ojos también están dotados de un extraordinario detector de luz la “retina” que convierte la imagen luminosa que se proyecta sobre ella en impulsos eléctricos, éstos son enviados a través del nervio óptico a la corteza visual, donde son decodificados y transformados en información que el cerebro interpreta como una imagen y la almacena o descarta².

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

1 Una descripción muy exhaustiva puede verse en: https://en.wikipedia.org/wiki/Visual_perception

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

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

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

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

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

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

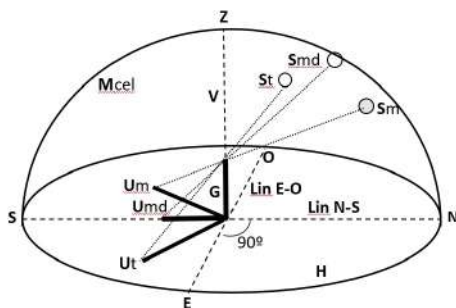
³ La historia del desarrollo de los detectores de estado sólido puede verse en McLean (2008, 2013).

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

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

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

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



G: gnomon - Sm: sol mañana - Smd: sol mediodía - St: sol tarde
 H: Horizonte - V: vertical del lugar - Z: zenit
 Um: sombra mañana - Umd: sombra mediodía - Ut: sombra tarde
 Lin-NS: línea Norte-Sur - Lin-EO: línea Este Oeste
 S, O, N, E: puntos cardinales - Mcel: meridiano celeste local

Figura 1. Sombras Gnomon. Créditos del autor.

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

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

Con el paso de los siglos, fue requiriendo de mejores instrumentos y métodos de análisis e interpretación para comprender el funcionamiento de los astros. Conviene destacar que este instrumento, tan antiguo y elemental, fue utilizado en diversas misiones espaciales: por ejemplo, Apolo 11 -y otras de la misma serie- que puso a los humanos en la Luna, se utilizó con el propósito conocer con precisión el ángulo del Sol para realizar mediciones fotométricas de las muestras de materiales que se traerían a la Tierra al momento ser recogidas (NASA⁴). Otros gnomon fueron colocados en los *rovers* Spirit y Opportunity de las misiones estadounidenses

4 NASA (1969). Apollo11 Science Experiments.

a Marte⁵, además de sus funciones científicas llevan la inscripción “*Two worlds, One sun*” y la palabra “Marte” en veintidós lenguajes.

La Esfera Armilar

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

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

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

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

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

Eratóstenes de Cirene, 276-194 a. C, fue un matemático, astrónomo y geógrafo griego. Hiparco, a quién nos referimos más abajo, le atribuyó el invento de la Esfera Armilar⁷, (Fig.2), instrumento que permitía medir la posición de los astros. Es una representación del firmamento a escala humana, consiste en una esfera transparente definida por los círculos máximos conocidos entonces, el Horizonte, el Ecuador, la Eclíptica, entre otros, con la Tierra en su centro tal como se concebía el Mundo en esos tiempos.



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

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

7 Más información puede verse en: Evans (1998).

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

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

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

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

8 Una descripción más detallada de este fenómeno puede verse en: https://es.wikipedia.org/wiki/Precesi%C3%B3n_de_los_equinoccios

9 Una explicación del modelo de Ptolomeo puede verse en: https://es.wikisource.org/wiki/Almagesto:_Sistema_Ptolemaico_o_Sistema_Geoc%C3%A9ntrico

la Biblioteca de Alejandría entre los años 127 y 145. Su intención era explicar el movimiento retrógrado de los planetas¹⁰ en un universo geocéntrico modelo filosófico del Mundo creado por Platón y Aristóteles unos 500 años antes. Nótese en la figura que Ptolomeo, (Fig.3) quién tiene en sus manos un cuadrante, instrumento para medir posiciones angulares de los astros, no está solo, sino acompañado por Urania la Diosa de la Astronomía y Astrología de la mitología griega, lo que nos indica el peso del mito en el desarrollo del conocimiento. Por otra parte, Ptolomeo muestra la influencia del prestigio de Aristóteles al intentar mantener la validez del modelo geocéntrico, sobre el modelo heliocéntrico propuesto por Aristarco de Samos.¹¹



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

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

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

El freno del desarrollo del conocimiento del Mundo en Occidente

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

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

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

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

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

Johannes Kepler, 1571-1630, astrónomo y matemático alemán, ayudante de Tycho, accedió a los catálogos producidos por éste después de su muerte. Se dio cuenta que las posiciones planetarias medidas por Tycho, no eran compatibles con las órbitas circulares del modelo copernicano. Su formidable capacidad como matemático le permitió concluir en 1609 que las órbitas *eran elipses con el Sol ubicado en uno de sus focos* (Primera Ley), posteriormente, entre 1609 y 1619 enunció dos leyes¹² *más que permitieron entender el funcionamiento del sistema planetario*. Estas leyes matemáticas, por ser deducidas de las observaciones de un fenómeno, se denominaron *leyes fenomenológicas*.

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

12 Un tratamiento completo de este tema puede verse en: https://en.wikipedia.org/wiki/Kepler's_laws_of_planetary_motion

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

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

Qué significa conocer y entender el mundo: los modelos

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

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

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

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

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

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

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

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

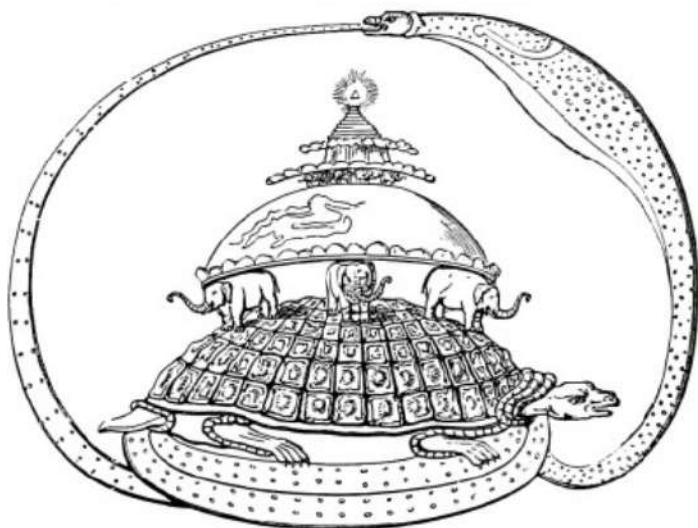


Figura 4. Modelo del Mundo según la Cosmogonía Hindú.

Créditos: World History Archive

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

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

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

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

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

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

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

A criterio del autor las principales características de la Ciencia¹³ pueden resumirse en los siguientes ítems:

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

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

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

Herramientas de la Ciencia

La Ciencia, para su implementación se vale de tres herramientas: Observación, Experimentación y Teoría. Estos son los pilares fundamentales del Método Científico. Las dos primeras generan información cuantitativa, una vez interpretados estos datos se generan hipótesis o un conjunto de ellas que permiten construir modelos observacionales que pueden ser corroborados o no por nuevos experimentos u observaciones. Otras veces estos datos o modelos son tomados por la teoría para tratar de explicar lo hechos fundándose en leyes más generales, produciendo modelos teóricos o teorías científicas más generales. Un ejemplo muy ilustrativo de esto último, fue la explicación del apartamiento del movimiento del perihelio de Mercurio respecto al previsto por la Teoría Newtoniana de la Gravitación, la primera hipótesis propuesta para explicarlo, era que debería existir un planeta, no observado aún, entre Mercurio y el Sol, este hipotético planeta llegó incluso a ser bautizado con el nombre de Vulcano, hipótesis que fue descartada prontamente por razones observacionales y no fue sino hasta el advenimiento de la Teoría de la Gravitación de Einstein que pudo explicarse la mencionada desviación¹⁴, lo que a su vez significó la primera validación observacional de esta Teoría.

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

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

culación científica se practica mediante la reflexión en un plano exclusivamente teórico. Por ejemplo, las especulaciones sobre el Multiverso¹⁵.

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

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

La observación astronómica

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

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

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

Atributos y observables

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

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

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

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

Utilidad científica de una observación: sus restricciones

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

- Tener un objetivo bien determinado: por ejemplo, determinar la edad de un conjunto de cúmulos globulares a partir de las estrellas variables situadas en la rama horizontal de su diagrama HR. Esto requiere tener un buen conocimiento del tema en estudio y una buena justificación científica del proyecto.

- Tener una estrategia perfectamente establecida para la observación: por ejemplo, establecer la época del año más conveniente para realizarla; decidir desde qué lugar voy a realizar; elegir adecuadamente el telescopio y el instrumental accesorio, si se tomarán imágenes elegir el juego de filtros a emplear para obtener la información necesaria, seleccionar el detector adecuado; decidir la cantidad de imágenes mínimas que se deben tomar para asegurar la calidad de los resultados obtenidos; determinar la hora más adecuada para observar cada objeto; seleccionar los patrones de calibración; y varias cuestiones más que sería largo detallar aquí.

- Llevar registro de todo lo acontecido durante el proceso de observación: estimar la “calidad del cielo”; anotar si pasan nubes; registrar el momento en que se producen relámpagos producidos por tormentas lejanas o cercanas; fallas de algún instrumento, etc.

- La observación debe ser repetible: esto es necesario para poder corroborar los resultados en el caso de la aparición de datos discordantes, para determinar si las discordancias son intrínsecas a la naturaleza de los objetos estudiados o a errores instrumentales o de operación del observador.

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

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

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

Sin cuestionar los grandes esfuerzos para la obtención del valor de la Constante de Hubble¹⁶, que mide la velocidad de expansión del Universo. pueden verse las dificultades intrínsecas a esta medición en algunas de las consideraciones mencionadas en los párrafos de este apartado.

La metodología de la Observación Astronómica

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

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

observación es el camino que debemos efectuar para encontrar los mencionados atributos. Para explicar este procedimiento *recurriré a un modelo* -creado por el autor- porque se lo explica en la nota al pie de página que se denomina: cadena de observación¹⁷. Está constituida por todos los instrumentos y procesos necesarios para realizar una observación astronómica. Merece destacarse que este modelo de la cadena de observación, es aplicable a cualquier disciplina científica que necesite realizar observaciones, aún las experimentales. La experimentación sin observación posterior a la realización del experimento sería inconducente.

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

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

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

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

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

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

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

Para facilitar la comprensión vamos a suponer que la observación la vamos a realizar en el rango óptico y que el astro observado es una estrella. Ésta emite una señal electromagnética que se irradia a todo el espacio transportando, como se dijo más arriba, la información de las condiciones y procesos físicos existentes en el lugar y momento en que se originó esta radiación. Por simplicidad y dado que vamos a trabajar en el rango óptico podemos suponer que la estrella emite una señal luminosa. Una muy pequeña parte de esta luz, S₀, viaja en dirección al observador, por ser tan grande la distancia de la estrella al observador, la luz llega a éste en forma de un conjunto de “ondas planas” de diferentes longitudes de onda todas mezcladas. Esta señal toda mezclada porta la información sobre *los observables*, que son la parte de los atributos que llegan al observador.

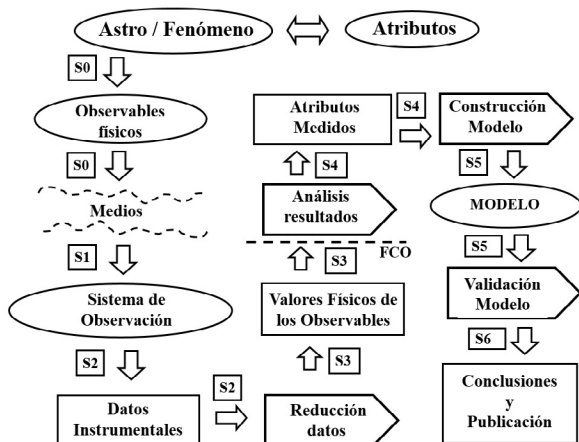


Figura 5. Cadena de Observación. Créditos del autor.

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

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

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

Se describe, en primer lugar el sistema de visión humano¹⁸. Éste consta de dos partes bien diferenciadas como se dijo más arriba: los ojos y la

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

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

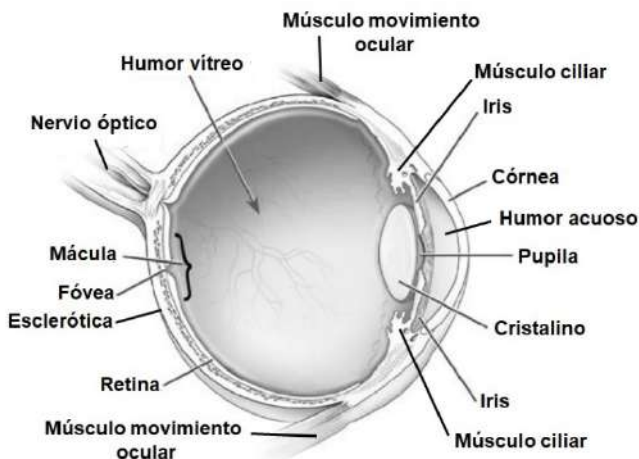


Figura 6. Corte transversal del ojo humano que muestra sus distintas partes. Adaptación del autor. Original: National Eye Institute.

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

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

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

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

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

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

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

- La *retina*: es el *detector* de luz del ojo, es un detector instantáneo y no tiene capacidad de acumular información, está constituida por células especializadas llamados conos y bastoncillos. Su principio de funcionamiento es fotoquímico variando la concentración de rodopsina¹⁹ de acuerdo a la cantidad de luz que reciben. Es la molécula espejo de

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

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

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

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

El sistema de observación consta de las siguientes partes:

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

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

20 Más detalles ver: https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%93ptica_activa

21 Más detalles ver: https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%93ptica_adaptativa

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

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

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

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

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

Conclusiones

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

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

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

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

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

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

Bibliografía

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

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

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



¿Qué mirada sobre el mundo propondría la Didáctica de la Astronomía desarrollada en el Secundario de Argentina?

Néstor Camino*

Resumen

Se presentan las ideas que dieron origen a la contribución realizada durante la Mesa Temática sobre “Epistemología y Didáctica de la Astronomía” (https://jeha.oac.unc.edu.ar/?page_id=406), en la cual reflexionamos sobre las características de los espacios vinculados a Astronomía en el Nivel Secundario de la República Argentina. Durante la presentación se discutió qué mirada sobre el mundo, sobre la Astronomía y sobre la Ciencia se desprendería de la Astronomía puesta en juego en las aulas del Nivel, proponiendo acciones tendientes a brindar mejoras en su desarrollo futuro, desde la perspectiva de una Didáctica de la Astronomía significativa, comprometida con lo social y acorde con una concepción actual sobre el conocimiento científico tanto en lo educativo como en lo astronómico. Los intercambios con los participantes fueron de gran riqueza, mostraron el interés por la temática tratada y fortalecieron el llamado de atención sobre la responsabilidad de la comunidad astronómica para con la educación formal.

Palabras clave: *Didáctica de la Astronomía, Nivel Secundario, Visión de mundo, Astrónomos, Futuro*

Abstract

The ideas that gave rise to the contribution made during the thematic table on “Epistemology and Didactics of Astronomy” are presented, in which we reflected on the characteristics of the spaces linked to Astronomy at the Secondary Level School of the Argentine Republic. During the presentation, it was discussed what perspective on the world, on Astronomy and on Science would emerge from the Astronomy put into play

* Complejo Plaza del Cielo – CONICET-FHCS UNPSJB, Esquel. NAEC.

in the classrooms of the Level, proposing actions tending to provide improvements in its future development, from the perspective of a Didactics of Significant Astronomy, committed to the social and in accordance with a current conception of scientific knowledge, both in education and in astronomy. The exchanges with the participants were very rich, showed interest in the subject matter and strengthened the call for attention on the responsibility of the astronomical community towards formal education.

Keywords: *Didactics of Astronomy; Secondary Level; Worldview; Astronomers; Future.*

Astronomía: una forma de ver el mundo

La motivación original de esta contribución a las IJEHA fue compartir algunas ideas y preguntas vinculadas a que cuando hacemos Didáctica de la Astronomía, en los distintos niveles del sistema educativo formal, debemos tomar conciencia de qué estamos significando sobre cómo funciona el mundo en general desde una mirada científica y sobre cómo funciona el mundo en especial a los ojos de la Astronomía. Así, el supuesto de este sencillo ejercicio de reflexión es sugerir que, analizando la estructura y las particularidades de la presencia de Astronomía en los distintos diseños curriculares del Secundario, podríamos inferir, al menos de modo exploratorio, cuál sería la visión de mundo puesta en juego, aunque fuera de modo no explícito, en el desarrollo de la Astronomía en este Nivel; más aún, se podría además inferir cuál sería la concepción sobre la propia disciplina Astronomía como ciencia actual que se presenta a los adolescentes argentinos.

Ya hemos expresado (Camino, 2018) que consideramos que es posible definir a la Astronomía, en el sentido más amplio posible y hacia atrás en los tiempos humanos, a través de la Historia y hasta nuestra época, como una de las formas culturales de las civilizaciones para relacionarse con el cielo. En una definición mucho más restringida, tanto por su especificidad como por su temporalidad, la Astronomía sería una actividad moderna especializada en construir y validar conocimiento científico sobre el Universo. Esta última definición está incluida de muchas formas en la primera, sin embargo, ambas implican que las personas y los grupos humanos construimos cierta mirada sobre nosotros y el universo que nos incluye.

Más aún, podemos asumir que los seres humanos somos constructores de “cosmovisiones” (o también “visiones de mundo”), cuya función principal sería la de brindar una forma de interactuar y dar sentido al mundo natural y social, con características fuertemente idiosincráticas, históricas y culturales, y que son tan amplias que integran todos los aspectos que hacen a la vida (Kearney, 1984). En este tan complejo proceso, la Educación, también en el sentido más amplio posible, es uno de los principales factores que intervienen en la construcción de las diversas cosmovisiones, siendo uno de los aspectos constitutivos de las mismas la relación individual y social con el cielo.

Didáctica de la Astronomía y visiones de mundo

Podemos entonces considerar a la Enseñanza de la Astronomía (más aún, a la Didáctica de la Astronomía) como una de las herramientas más especializadas con que contamos para contribuir a que el cielo, tanto en su diversidad cultural como desde una concepción moderna de conocimiento científico, sea parte esencial en el proceso gradual y continuo en el tiempo a través de todo el ciclo vital de las personas que denominamos visiones de mundo.

Tal proceso de construcción debe fortalecer, entre muchos otros aspectos, la capacidad de preguntarse por lo que se percibe y de problematizar los conocimientos supuestamente validados, la capacidad de ver distinto, de imaginar otras explicaciones, de sostener las propias y de respetar las diferentes miradas que otras personas y culturas pudieran tener, y de imaginar futuros posibles y desarrollar acciones que gradualmente irán modificando las cosmovisiones dominantes, tanto del propio grupo como de la época, dentro y fuera del campo restringido de la ciencia, en este caso de la Astronomía.

Ahora bien, dado que consideramos a la Educación como un factor de gran importancia en el proceso antes citado, podemos analizar en especial las características que tiene la Astronomía en el Sistema Educativo argentino, en los Niveles obligatorios, Inicial, Primario y Secundario, como así también en la Formación Docente, nivel terciario que forma a quienes luego serán docentes de los niveles obligatorios. Es decir, podemos analizar de qué manera la educación formal presenta al cielo, a la vinculación de las personas y las culturas con el cielo, y al proceso socio histórico de

construcción de conocimiento, tanto científico como de otros tipos, asociada al cielo.

Un primer acercamiento a comprender esto es a través de analizar los lineamientos propuestos en los diferentes diseños curriculares de las veinticuatro jurisdicciones del país para el campo de la Astronomía (Alterman, 2008), y posteriormente, con una profundidad aún mayor, a través de identificar las distintas acciones propias de la Didáctica de la Astronomía puestas en juego en la gran diversidad de realidades de las aulas argentinas.

De esta manera, existen al menos dos preguntas, aún abiertas y que no serán respondidas en este trabajo de reflexión inicial, una más general: ¿qué mirada brindaría a los chicos y adolescentes argentinos la educación formal sobre la Astronomía, sobre el cielo, sobre nosotros en definitiva como habitantes de un planeta de este universo?, y otra aún más específica: ¿cuál es la cosmovisión que propone a la sociedad argentina la práctica actual de la Didáctica de la Astronomía en el Nivel Secundario?

Preguntas para la Didáctica de la Astronomía

Una Didáctica de la Astronomía pensada desde la construcción de visiones de mundo debería presentar a quienes aprenden, en forma explícita y no dadas por hecho, respuestas a preguntas de trascendental importancia para comprender nuestra forma actual de ver el Universo, desde una perspectiva astronómica al menos. Estas preguntas han estado presentes a lo largo de la Historia, pero también lo están hoy mismo en las personas, de todas las edades, interesadas por aprender, en particular sobre el cielo. Quienes educamos a través de la Astronomía (de esto se trata, en definitiva) deberíamos ofrecer elementos para construir algunas respuestas a las siguientes categorías de preguntas, descritas en forma muy sintética (a partir de lo expuesto por: Aerts et al, 2007; Vidal, 2008).

- Qué es lo que existe: ¿cuál es la naturaleza de nuestro mundo, cómo está estructurado y cómo funciona?, ¿por qué nuestro mundo es como es, y no es diferente?, ¿por qué somos como somos, y no somos distintos?, ¿el universo está hecho a nuestra medida?, ¿por qué hoy hablamos de agujeros negros y no de éter, de planetas enanos y no de los cinco elementos?, ¿por qué hablamos de estructuras que están vinculadas

dinámicamente en el universo y no de un centro único y preferencial?, ¿cuál es la relación e influencia de lo que existe con nosotros y con nuestras vidas?

- Cómo fue que sucedió que todo esto exista: ¿siempre estuvo ahí, existe porque es así, porque Dios lo creó, o lo explicamos a partir del Big Bang, de futuras teorías cosmogónicas, o de posturas eclécticas y ad-hoc?

- Qué pasará en el futuro: ¿cómo va a cambiar el Sol y qué será de la Tierra y de nosotros?, ¿cómo es el proceso de evolución estelar, de la galaxia, de todo el universo?, ¿habrá un “Big Crunch”? ¿cómo será la evolución de la vida en el universo?

- Qué conocimiento se considera verdadero: ¿cómo construimos conocimiento y cómo lo validamos?, ¿qué rol cumple la observación en la Astronomía?, ¿qué supuestos y qué métodos utilizamos para determinar parámetros, para medir, etc.?, ¿cuánto depende la Astronomía de la tecnología? ¿qué papel juegan las visiones de mundo en la construcción de conocimiento científico? y en cuanto a la dimensión social de la ciencia:

- Qué acciones son correctas: ¿existe una bioética de la exploración espacial?, ¿tenemos derecho a la terraformación de planetas como Marte? ¿cuál es la responsabilidad social de los astrónomos? ¿cómo elegir entre futuros posibles?, ¿qué concepción de progreso sostenemos?

- Cómo deberíamos actuar en las distintas situaciones: ¿cómo comunicarnos con otras civilizaciones, tiene sentido intentarlo?, ¿colonizaremos otros planetas al estilo de la Conquista de América? ¿cómo podemos colaborar en la transformación de este mundo en que vivimos?

Asimismo, la Didáctica de la Astronomía debiera exponer de qué manera los seres humanos hemos dado respuesta a tales preguntas a través de las distintas culturas, sin suponer que las respuestas actuales serían *per se* más completas, profundas, adecuadas y valederas que otras muchas posibles, las del pasado y las que vendrán en el futuro, no sólo dentro del

propio campo científico (Kuhn, 1992), sino en el gran campo de las visiones de mundo.

En síntesis, consideramos que los fundamentos de la visión actual de la Astronomía, como parte importante de la cultura actual, se deberían materializar en las aulas a través de la Didáctica de la Astronomía. Pero esos fundamentos, los que fueren, deben estar siempre presentes y ofrecidos en forma explícita en cada acción didáctica implementada, sujetos a la pregunta de quién aprende, y ubicados en cada situación bajo estudio en su respectivo contexto socio-histórico. Jamás un supuesto debe estar dado por hecho, cual si fuera una “verdad revelada” propia de una concepción de verdad por autoridad antes que por un proceso de construcción social (Camino, 2021).

Astronomía en el Nivel Secundario de la República Argentina

En un estudio recientemente realizado por los miembros de la Coordinación Nacional de la Educación en Astronomía (NAEC Argentina, Asociación Argentina de Astronomía, Office of Astronomy for Education, International Astronomical Union), hemos relevado la totalidad de los Diseños Curriculares de Nivel Secundario en las 24 Jurisdicciones Educativas de Argentina (23 provincias y CABA), analizando las características de la Astronomía que allí se propone (Camino et al., 2021).

El presente trabajo se nutre fuertemente de los resultados del citado estudio, el cual ha dejado abiertas muchas líneas para futuras investigaciones. En apretada síntesis, los principales resultados de aquel trabajo son:

- En el Ciclo Básico (los tres primeros años de la educación secundaria, obligatoria en Argentina), 17 de las 24 jurisdicciones incluyen al menos un contenido sobre Astronomía, “ocultos” dentro de los espacios curriculares denominados “Físico-Química”, “Física” o “Ciencias Naturales”. Historia de la Astronomía aparece en una única jurisdicción. Y 7 jurisdicciones no tienen ningún contenido de Astronomía en el Ciclo Básico, ni siquiera incluidos en otras áreas conceptuales.

- En los tres últimos años, en la Formación General del Ciclo Orientado, 14 jurisdicciones presentan algunos temas de Astronomía, dis-

persos entre las distintas asignaturas; la mitad de estas jurisdicciones tienen la orientación en Ciencias Naturales.

- En la Formación Específica del Ciclo Orientado, 10 jurisdicciones tienen un espacio curricular específico sobre Astronomía, con baja carga horaria (tres horas cátedra, la mayoría), en la Orientación en Ciencias Naturales, en el último año.

- Nótese que, aún en estas jurisdicciones, la existencia de nada más que tres horas cátedra en el último año sin haber desarrollado siquiera algún concepto de Astronomía en el resto del secundario, ya es un diagnóstico de la importancia que se le da a esta disciplina en el Nivel Secundario, situación aún más grave en el resto del país, regiones en las que no existe una asignatura específica.

- En todos los casos (Ciclo Básico, Formación General del Ciclo Orientado y Formación Específica del Ciclo Orientado), hay una gran diversidad de temas, en general inconexos y descontextuados, con una fuerte sobrecarga de contenidos propios de las distintas disciplinas de las Ciencias Naturales, pero sin vinculación con la Astronomía.

- No hay en general un tratamiento satisfactorio sobre el desarrollo histórico de la Astronomía y de las diversas visiones de mundo a través de la Historia, ni del proceso de construcción de conocimiento científico en Astronomía y sobre su carácter sociohistórico. Algo similar puede comentarse sobre los desarrollos históricos del resto de las disciplinas científicas naturales y su vinculación con las culturas de cada época.

Cómo se desarrolla Astronomía en el Nivel Secundario

En aquellos casos en que contenidos de Astronomía se incluyen explícitamente en el Secundario, los mismos se desarrollan en forma diversa, poco sistemática, y sin garantías de que su tratamiento tenga continuidad y coherencia interna.

Como ejemplo, es posible “encontrar” un contenido de Astronomía en un Ciclo Básico, pero es nuestra mirada, sesgada, la que caracteriza

al mismo como propio del conocimiento astronómico; es decir, no hay “garantía” alguna de que los significados y sentidos que el docente a cargo proponga, o el énfasis de la orientación o del proyecto institucional en particular, consideren que un cierto tema esté vinculado a la Astronomía.

Es muy posible que el tenor de su tratamiento real bien pueda ser muy diferente y no estar explícitamente vinculado, articulado, con conceptos astronómicos, ya sea de otras asignaturas dentro del plan de estudios o de la disciplina científica específica en general. Como ejemplo, muchos conceptos y temas bien podrían tomarse sólo como propios de Física (gravedad, luz), de Química (átomo), de Biología (vida), pero no como inherentes a la construcción de un modelo astronómico del universo.

Esta situación, actual y generalizada en todo el país, es muy compleja, por cierto, y quizás pueda deberse a que, en especial:

- Los Diseños Curriculares muestran la falta de un criterio didáctico claramente explicitado para el recorte de contenidos, los cuales en general son presentados como un “deber ser” de la Astronomía, al estilo “índice de libro”, cual “porciones de verdad” a ser aprendidas, presentadas como largos listados sin discriminar su naturaleza y relativa importancia.

- Sólo el 7% de los estudiantes de secundario argentinos tiene Astronomía como materia específica, con una baja carga horaria semanal (3 horas cátedra, en promedio); una medida de la importancia que se le da a la Astronomía en la formación de los adolescentes. Así, vale preguntarse nuevamente: ¿qué elementos brindamos a los adolescentes argentinos para que incorporen en la construcción de sus visiones de mundo elementos del conocimiento científico asociado al cielo, en especial en lo que respecta a los objetos de estudio, métodos y modelos de la Astronomía? (Cobern, 1991)

- Por otra parte, en la actualidad existen escasos recursos didácticos de buena calidad (libros, principalmente) sobre Didáctica de la Astronomía diseñados específicamente para el Nivel Secundario; los Diseños Curriculares en vigencia en general no sugieren materiales confiables para el docente, las indicaciones refieren en general a

contenidos conceptuales, algunos también metodológicos, de la Astronomía, pero no de su didáctica específica.

- Los perfiles docentes más habituales en ejercicio en el Secundario en general no satisfacen plenamente los requerimientos de tal carga de contenidos y de aspectos didácticos de la Astronomía. Un factor agravante a lo antes expuesto es que en la mayoría de los Profesorados de Física casi no se trabaja sobre Astronomía y su Didáctica. Más aún, la cantidad de Profesores de Física es muy baja en todo el país, y tampoco se ofrecen regularmente acciones de formación docente en servicio sobre Didáctica de la Astronomía, de ningún tipo, en las distintas jurisdicciones del país.

- Los docentes en general no tienen contacto con los astrónomos profesionales, ni con los astrónomos aficionados, como para aprender de una forma más directa y con vínculo personal sobre Astronomía y comprender su práctica profesional, para luego transponer esos aprendizajes a las aulas del Secundario.

Cómo sería la mirada sobre la Astronomía y la Ciencia en general

Desarrollar contenidos según un listado de temas, muchas veces inconexos, genera una imagen sobre la Astronomía como estructura rígida, no dinámica, sin vinculación entre sus distintas partes, con poca coherencia interna, con contenidos transformados en verdades, casi absolutas y eternas, muy lejos de ser frutos de una construcción que se ha ido desarrollando por siglos, a través de un recorrido no lineal, con diversos y profundos cambios.

De alguna manera, la dispersión y poca conexión entre los contenidos de la Astronomía en el secundario dan una imagen contraria a la búsqueda que desde siglos ha hecho la humanidad y la ciencia en particular: hacer inteligible lo que percibimos, dar una imagen de “orden”, de regularidad y de predictibilidad a lo desconocido, y de fuerte interconexión holística en lo que hoy llamamos universo.

La falta de articulación entre los contenidos de las distintas asignaturas del Secundario tampoco rescata la íntima relación entre las distintas ciencias, en la actualidad y en la Historia; las ciencias no son compartimientos

estancos, como lamentablemente muchas veces sí lo son las asignaturas en las escuelas.

Asimismo, esta forma de presentar la Astronomía trae a veces una concepción caricaturesca de la ciencia y del pensamiento humano, leyendo la Historia “hacia atrás”: como si Aristarco, por ejemplo, sabía que siglos después vendría Copérnico, quien a su vez sabía que tiempo después vendría Einstein, y así sucesivamente, hilvanando la historia con personajes anquilosados en una mirada exitista, de genios portadores de la verdad, a-históricos, sin su naturaleza humana más cercana a nosotros: creencias, miedos, deseos, creatividad, dudas, incertidumbre existencial, etc.

Una Didáctica de la Astronomía desarrollada en las aulas del Secundario sin vínculo con la Historia, con la Historia de la Astronomía en particular, genera que los temas tratados pierdan la dimensión temporal, de contexto sociohistórico, a través del tiempo a gran escala, y de la tarea que incontables mujeres y hombres desarrollaron, la gran mayoría de ellos anónimos.

Todo se “comprime” en una imagen estática congelada en el presente, con un efecto finalista, teleológico, sostenido a través de siglos, con fuerte peso mandatorio y discriminador sobre los chicos que hoy quizás tuvieran una vocación cercana a la Astronomía, una forma encubierta de “ahuyentarlos”.

Por otra parte, el tratamiento de temas fuertemente vinculados con la tecnología actual da una imagen de que sólo es posible conocer sobre el cielo si se dispone de grandes telescopios, sofisticadas computadoras y formalismos matemáticos, una mirada elitista y snob del astrónomo, que suma a lo antes expuesto otro efecto inhibitorio de posibles vocaciones para estudiar Astronomía.

Un chico del interior del país, que amara el cielo y la búsqueda de conocimiento sobre el cielo, pero sin conectividad ni recursos tecnológicos, y aun contando con la base matemática elemental de la escuela secundaria, sentiría fuertemente limitada su posibilidad de elegir estudiar Astronomía (y también quizás otras disciplinas científicas), debido a esa imagen deformada del astrónomo y de su trabajo que se presenta habitualmente en la escuela (y en los medios de comunicación).

Finalmente, no está presente en las aulas del Secundario, al menos en lo que respecta a la Didáctica de la Astronomía, la mirada antropológica,

la visión de mundo que debe acompañar al proceso de formación de los más jóvenes.

La Historia en sí misma, entonces, termina siendo una línea de tiempo, una secuencia de próceres, una historiografía que refuerza la concepción positivista de la ciencia, una concepción teleológica de la ciencia y del progreso, concepción que “atrassa” más de un siglo con respecto a la concepción de ciencia que sostenemos en la actualidad. Los elementos epistemológicos de esta Didáctica de la Astronomía terminan siendo un compendio de análisis lógico estructurales que olvida, en general, los aspectos sociales, culturales y axiológicos del conocimiento científico como producto y actividad social históricamente situada.

Claro que tampoco están presentes otras miradas sobre el cielo, las de pueblos originarios latinoamericanos en especial, otras cosmovisiones a través de los tiempos diferentes a la línea que desde los griegos hasta hoy ha derivado en la actual cosmovisión científica. Esta tácita descalificación de otras miradas reduce gravemente comprender la riqueza de las formas en que los grupos humanos nos conectamos con el cielo y de cómo la dinámica de las diferentes sociedades se vincula de distintas maneras con lo percibido, imaginado y conceptualizado sobre el cielo y el cosmos.

Aprendizajes significativos y diseños curriculares

Los conceptos científicos tienen para los estudiantes del Secundario muy poca fuerza, y su proyección a futuro es débil, fruto seguramente de la forma en que se les ha presentado el conocimiento científico y la Astronomía a través de la escolarización, con aprendizajes que no habrán sido lo suficientemente significativos como para comenzar a ver el mundo con nuevos elementos que se integren con la mirada de sentido común, la cual siempre brinda sentido al mundo aunque en general la misma no coincida con la mirada científica (Cobern, 1996).

Consideramos que, además de la necesidad urgente de una sustancial mejora en el diseño de contenidos y de estrategias didácticas, entre otros aspectos, en los Diseños Curriculares del Secundario, la incorporación explícita de elementos de Historia y Epistemología de la Astronomía brindaría un sustancial aporte para dar respuestas a aquellas categorías de preguntas, desde una concepción de proceso gradual de construcción de

aprendizajes significativos y no de certezas cerradas, respuestas a preguntas que van mucho más allá de la Astronomía.

Asimismo, aunque pensando en otros sujetos de aprendizajes, el tratamiento de la Historia y la Epistemología de la Astronomía debieran ser ya condiciones necesarias para la formación de científicos, astrónomos en especial, y para la formación de educadores, profesores de Física/Astronomía en especial. No sólo por su formación en sí misma, sino porque ambos futuros profesionales debieran acompañar a los procesos de cambio de los diseños curriculares en las distintas jurisdicciones educativas, con una mirada nueva que supere la tradicional, enciclopedista, lejana de lo que requiere el aprendizaje significativo de conceptos astronómicos en la adolescencia.

Más aún, ya no debería ser posible que haya un plan de estudios o un diseño curricular (del nivel que fuera) sin explicitar y desarrollar estos elementos constitutivos de la producción de conocimiento científico actual: incorporar una concepción humanista de la Astronomía, de la Ciencia y de la Cultura en general, tomando en cuenta aspectos evolutivos, epistemológicos e históricos en sus desarrollos (incluyendo las historias de vida de las personas que fueron pensadores y científicos y a quienes estudiamos sólo por sus producciones y no por sus vidas); conocer y dar valor a la presencia de otras cosmovisiones con sus interacciones y conflictos; discutir las proyecciones de una mirada global, astronómica, holística, hacia la vida en sociedad y al cuidado del ecosistema planetario; incorporar en la vida cotidiana la reflexión sobre la posibilidad de existencia de vida e inteligencia en otros planetas y su impacto sobre la sociedad terrestre, lo que revierte a su vez a tomar conciencia sobre cómo nos vemos a nosotros mismos.

Estos temas, en general, no están presentes en la escuela secundaria ni en la formación docente, salvo excepciones de docentes sensibles y comprometidos con una concepción más actual de la enseñanza, en especial de las Ciencias Naturales. Vale decir que tampoco están presentes en las redes y en los medios de comunicación, recursos muy utilizados en el Secundario principalmente a partir de la Pandemia, los cuales son también vehículos para la educación, pero que cargados de show, tecnología, rating y discursos esnobistas, poco cuidan la rigurosidad conceptual didáctica, histórica y cultural, con abundantes errores, prejuicios e imprecisiones.

Diseños curriculares y planes de estudio fuera de época

La gran mayoría de los Diseños Curriculares de Nivel Secundario en todo el país ya tienen varios años de existencia, en general más de cinco años; en poco tiempo más deberían ser revisados/reformulados. ¿No será posible modificar la mirada que ofrecen sobre la construcción de conocimiento científico astronómico a través del tiempo humano, tomando como insumo los aportes de astrónomos y didactas de la Astronomía?

Del mismo modo, los planes de estudio y diseños curriculares de los Profesorados de Física del país tienen también varios años de existencia, aún más que los diseños del Secundario, y también deberían ser revisados en poco tiempo más. ¿No será tiempo de incorporar Didáctica de la Astronomía en la formación docente, en especial para los futuros Profesores de Física y para los futuros Profesores de Nivel Primario?

En otro orden, de menor especificidad en cuando a la educación formal obligatoria, ¿cuántos años tienen los planes de estudio de las Licenciaturas en Astronomía de La Plata, Córdoba y San Juan? ¿Cada cuánto tiempo se reformulan estos planes? ¿No sería posible arriesgarse un poco e incorporar Epistemología e Historia de la Astronomía como materias obligatorias de la Licenciatura? No debiera esperarse a que algún astrónomo interesado se dedique a estudiar estos temas, sino que desde ya estos temas fueran inherentes a la formación de base de los futuros astrónomos. Podemos afirmar que no se es un buen astrónomo sin tener claro el desarrollo histórico de nuestra ciencia y la forma en que se construye y valida nuevo conocimiento astronómico, ya no allá lejos en la Antigüedad sino hoy mismo durante cada día en el trabajo profesional.

Sin dudas que podemos preguntarnos de qué manera y qué tipo de aprendizajes significativos construyen los futuros astrónomos y los futuros profesores de Física, ¿cómo se respondería a aquellas categorías de preguntas iniciales en las citadas carreras? ¿qué visión de mundo asociada al cielo habrán construido los jóvenes que eligieron formarse como profesionales en Astronomía y Educación?

Finalmente, los temas incluidos en la actualidad en la formación inicial de astrónomos parecieran no estar de acuerdo con los desarrollos más modernos de la comunidad astronómica internacional, incluyendo aquí a la Educación en Astronomía y a la Historia y la Epistemología de la Astronomía, áreas que la comunidad internacional de Astronomía, en parti-

cular a través de las acciones de la Unión Astronómica Internacional, han incorporado desde hace décadas.

Entonces, ¿qué de incorporar como materia optativa una que desarrolle elementos teóricos y metodológicos sobre la comunicación de la Astronomía a la Comunidad? Tampoco debiera esperarse a que algunos astrónomos bien intencionados se vinculen con los Medios, sino que comunicar la ciencia que desarrollamos como actividad profesional, Astronomía en especial, debiera ser una obligación, y aquellos que practiquen este importante vínculo con la sociedad debieran estar formados para cumplir con tal función.

A modo de comentarios finales

Tenemos una gran responsabilidad: enseñar a los jóvenes a ver diferente, a pensar distinto, a preguntarse y a buscar modos creativos de construir respuestas, de construir futuras y diversas formas de ver el mundo, en definitiva.

Nuestra función, como educadores y también como astrónomos, es aprender y enseñar todo lo que se conoce y valora hasta el momento, pero enseñar a ver distinto es quizás lo más desafiante para nuestra práctica. Pareciera que con la Astronomía que estamos ofreciendo a los adolescentes en el sistema educativo argentino, tal responsabilidad no se cumple, nuestra función no está adecuadamente desarrollada.

Los orígenes de tal situación, como siempre sucede en situaciones sociales, remiten a múltiples aspectos y causas. Sin embargo, podemos indicar claramente dos importantes factores: por un lado, el sistema educativo, que pareciera no haber adecuado sus diseños a una concepción moderna de las Ciencias Naturales, campo complejo que no tendría identidad histórica y epistemológica sin la presencia de la Astronomía, lo que a su vez trae consecuencias profundas sobre las distintas didácticas específicas del Área, en especial la Didáctica de la Astronomía.

Por el otro, la Astronomía profesional, que debe trabajar profundamente para investigar hacia dentro de la comunidad de pertenencia sobre qué la identifica, qué concepción sobre el mundo y sobre el conocimiento practica cada día, qué función social debería cumplir y cuál efectivamente está cumpliendo, y en especial cuál debería ser su vinculación con la educación pública y con la sociedad en general.

Claramente, el eje debe pasar por la construcción de una visión de mundo que nos posibilite a todos, y en especial a los más jóvenes, vivir en un mundo con una mirada que tome al planeta como nuestro lugar en el universo, a todos en él como equivalentes para lo cual el respeto y el cuidado de cada ser vivo debe ser esencial a la vida en sociedad, entre otros aspectos, y al conocimiento científico como una forma de mayor complejidad, especificidad y profundidad en la interacción con el mundo, complementaria con otras formas de conocimiento presentes en la cultura actual; esta mirada es muy diferente a la dominante actual, utilitaria, de corto alcance, fundamentalista, egoísta y antropocéntrica.

La Didáctica de la Astronomía en el Secundario tiene aún mucho por aportar, el desafío es comprometernos y ser creativos para contribuir a la formación de jóvenes que vivan integrando al cielo como parte fundamental en sus vidas.

Referencias

- Aerts, D., Apostel, L., De Moor, B., Hellemans, S., Maex, E., Van Belle, H., & Van der Veken, J. (2007). World views: From fragmentation to integration. pp. 13. Internet Edition.
- Altermann, N. (2008). La construcción del currículum escolar. Claves de lectura de diseños y prácticas. Revista *Páginas de la Escuela de Ciencias de la Educación*. N°6. pp. 127-145.
- Camino, N. (2018). "La Enseñanza de la Astronomía: nuestro vínculo con la gente". En Benaglia, P; Rovero, A.C.; Gamen, R. & Lares; M., Editores. Boletín de la Asociación Astronómica Argentina - BAAA, Vol. 60.
- Camino, N. E.; Merlo, D. C.; Corti, M. A.; De Biasi, M. S.; Paolantonio, S. (2021). "Astronomía en los Diseños Curriculares de Nivel Secundario de la República Argentina". *Revista de Enseñanza de la Física*. Vol. 33, N° Extra REF XXII. pp. 101-113. ISSN: 2469-052X.
- Camino, N. (2021). "Reflexiones sobre lo que damos por hecho en la Enseñanza de la Astronomía (y de las Ciencias Naturales)". En

- Amórtegui Cerdeño, E. F. (comp.). *Didáctica de las Ciencias Naturales: perspectivas latinoamericanas. Aportes a la formación del Profesorado y la Educación Científica*. Ushuaia: UN de Tierra del Fuego; Huila: Editorial Universidad Surcolombiana. 320 páginas. ISBN 978-987-46273-4-62021. pp. 103-124.
- Cobern, W. (1991). *World View Theory and Science Education Research*. NARST Monog., N°3. Manhattan, KS, USA.
- Cobern, W. (1996). "Worldview Theory and Conceptual Change in Science Education". *Science Education*, 80(5):579-610.
- Kearney, M. (1984). *World View*. Chandler and Sharp Pub. Inc., Novato, CA, USA.
- Kuhn, T. S. (1992). *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica, Breviarios. Buenos Aires, Argentina. 4ª Reimpresión.
- Vidal, C. (2008) *Wat is een wereldbeeld? (What is a worldview?)*, in Van Belle, H. & Van der Veken, J., Editors, *Nieuwheid denken. De wetenschappen en het creatieve aspect van de werkelijkheid*. Acco, Leuven. pp. 3-4.



¿Por qué hay estrellas invisibles? Lecciones epistemológicas del debate entre Galileo y Kepler

Alejandro Cassini*

Resumen

En este trabajo presentaré el debate entre Galileo y Kepler acerca de las causas por las cuales existen estrellas que no son visibles a simple vista, pero pueden observarse mediante el telescopio. Luego, lo analizaré desde el punto de vista epistemológico, considerando las dos principales hipótesis en juego: la de la mayor distancia y la del menor tamaño de las estrellas invisibles. Argumentaré que tales hipótesis no son excluyentes ni exhaustivas de las explicaciones posibles. Concluiré, entonces, que la controversia no podía resolverse en el momento que se produjo, ni por medio de argumentos ni de observaciones, porque ambas hipótesis estaban subdeterminadas por la evidencia disponible.

Palabras clave: *Galileo, Kepler, estrellas fijas, hipótesis, subdeterminación.*

Abstract

In this work, I will present the debate between Galilei and Kepler about the causes for which there are stars that are not visible to the naked eye but can be observed through the telescope. Then, I will analyze it from the epistemological point of view, considering the two main hypotheses at stake: the one of the greater distance and the one of the smaller size of the invisible stars. I will argue that such hypotheses are neither exclusive nor exhaustive of possible explanations. I will conclude that the controversy could not be resolved at the time it arose, neither by argument nor by observation, because both hypotheses were underdetermined by all the available evidence.

Keywords: *Galilei, Kepler, fixed stars, hypotheses, underdetermination.*

* Universidad de Buenos Aires (UBA)- (Conicet).

1. Introducción

Cuando Galileo descubrió que existían en los cielos numerosas estrellas que no eran visibles a simple vista, varios supuestos que se remontaban a la astronomía antigua entraron en crisis. Además, se plantearon nuevas preguntas para las cuales en ese momento no había una respuesta cierta o convincente. No es sorprendente, entonces, que los descubrimientos telescópicos de Galileo suscitaran todo tipo de controversias. En este trabajo presentaré el debate entre Galileo y Kepler acerca de las causas por las cuales existen estrellas que no son visibles a simple vista, pero pueden observarse mediante el telescopio. Luego, lo analizaré desde el punto de vista epistemológico, considerando las dos principales hipótesis en juego: la de la mayor distancia y la del menor tamaño de las estrellas invisibles. Argumentaré que tales hipótesis no son excluyentes ni exhaustivas de las explicaciones posibles. Concluiré que la controversia no podía resolverse en el momento que se produjo, ni por medio de argumentos ni de observaciones, porque ambas hipótesis estaban subdeterminadas por la evidencia disponible.

2. Presupuestos cosmológicos de la astronomía antigua

La tradición principal de la astronomía griega, que va desde Eudoxo en el siglo IV a. C hasta Ptolomeo en el siglo II d. C., admitió una diversidad de supuestos, muchos de ellos de origen aristotélico, acerca de la naturaleza y el comportamiento de los cielos.¹ En primer lugar, la separación de los cielos en dos regiones cualitativamente diferentes: la *región sublunar*, donde hay generación y corrupción de las entidades, como se observa en los fenómenos atmosféricos, y la *región supralunar*, no sujeta a cambio alguno, excepto el movimiento circular uniforme. Todos los fenómenos que se observan en el cielo pertenecen a una sola de tres categorías. Los que ocurren en la región sublunar son *meteoros*, como el arco iris, entre otros. En esa categoría se incluyen todos los cambios observados en los cielos, entre ellos, los que actualmente clasificamos como cometas, meteoritos, supernovas y muchos otros. Dado que la región supralunar no está sujeta

1 Los supuestos fundamentales provienen de *De caelo* de Aristóteles y no fueron modificados por los astrónomos antiguos.

a generación y corrupción, un supuesto esencial de la cosmología aristotélica, no es concebible, por ejemplo, que aparezca una estrella nueva o desaparezca una estrella vieja. Los cielos son eternos y, por tanto, también todas las entidades que los pueblan. Todos los objetos que existen en la región supralunar pertenecen a la categoría general de *estrellas*, las cuales orbitan alrededor de la Tierra fija con una diversidad de movimientos. Las estrellas se clasifican en dos tipos excluyentes: las *estrellas fijas*, que se mueven alrededor de la Tierra pero no cambian sus distancias entre sí, y las *estrellas móviles o planetas* (literalmente “errantes”) que también se mueven alrededor de la Tierra pero cambian sus distancias relativas respecto de las fijas, moviéndose con velocidades variables y trayectorias aparentemente caprichosas, como las retrogradaciones.

Se suponía que tanto las estrellas fijas como las estrellas errantes estaban adheridas a esferas cristalinas que las transportaban. Las diferentes esferas debían hallarse en contacto, puesto que se admitía la tesis aristotélica según la cual no podía haber espacios vacíos en los cielos. Todas las esferas se movían con movimiento circular uniforme, aunque el centro de cada una podía o no (como ocurría en los modelos planetarios de Ptolomeo) coincidir con el centro del universo que estaba ocupado por la Tierra fija. Las esferas cristalinas que transportaban a los planetas no eran observables, aunque se suponía que estaban hechas, igual que las estrellas y planetas, de éter o quintaesencia. Debido a su carácter inobservable, el número de esferas no podía contarse, pero debía postularse de acuerdo con las necesidades de explicación de los movimientos observados de las estrellas fijas y los planetas. El número de planetas y estrellas estaba determinado por la observación directa (aunque los catálogos estelares antiguos no pretendían ser completos), pero el número de esferas cristalinas era un parámetro libre de los modelos planetarios de la astronomía antigua, que podía ajustarse a voluntad.

Para los fines de este trabajo, solo interesan los supuestos concernientes a las estrellas fijas. Se admitía que todas las estrellas fijas brillaban con luz propia, aunque la causa que producía ese brillo era desconocida y, más bien, objeto de especulación. Todos los objetos de la región supralunar se consideraban compuestos de éter, pero este se presentaba en tres formas diferentes: transparente, opaco y luminoso. Respecto de los planetas, con excepción del Sol, se debatía si brillaban con luz propia o reflejada. Las estrellas fijas y los planetas se consideraban de forma esférica aunque, por

cierto, no había manera de corroborarlo por medio de observaciones, salvo las del Sol y la Luna. Respecto de los tamaños y distancias, se conocía con bastante precisión el radio de la Tierra, que se empleaba como unidad de medida astronómica, y se admitía que la Luna era más pequeña que la Tierra y que el Sol era más grande y estaba mucho más lejos que la Luna.² En cuanto al tamaño y distancia de las estrellas fijas, nada podía saberse, excepto que eran los objetos más lejanos.

Se suponía que las estrellas fijas se encontraban todas sobre una única esfera cristalina, ubicada inmediatamente después de la esfera de Saturno, el más lejano de los planetas. Aunque el espesor de las esferas cristalinas no podía medirse, ni tampoco estimarse razonablemente, se creía que no debía de ser muy grande, en todo caso, no mayor que las distancias entre los planetas. Por consiguiente, las estrellas fijas debían encontrarse a una distancia de la Tierra poco mayor que la de Saturno, donde las diferencias entre las distancias de las distintas estrellas no podían ser mayores que el espesor de la esfera cristalina que las contenía. Se seguía de estos supuestos que todas las estrellas se encontraban aproximadamente a la misma distancia de la Tierra y que dicha distancia era semejante en orden de magnitud a la de Saturno, o poco mayor.

Las estrellas fijas se clasificaban según su luminosidad en seis magnitudes que iban desde las de primera magnitud, las más brillantes, como Sirio, hasta las de sexta magnitud, las menos brillantes (la tradición atribuye esta clasificación a Hiparco de Nicea, aunque no se sabe con certeza su origen). Las causas de las diferencias de luminosidad no eran determinables por observación alguna. No obstante, de acuerdo con los anteriores presupuestos, no podían deberse a las diferencias en las distancias, ya que todas estaban sobre una misma esfera, ni a las de composición, ya que todas estaban hechas de éter. Había diversas explicaciones posibles de la luminosidad diferencial tan marcada: esta podía deberse a las diferencias de tamaño, o bien a la diferente luminosidad intrínseca de cada una. También había otras hipótesis posibles, todas especulativas, como, por

2 En su obra *Sobre los tamaños y las distancias del Sol y la Luna*, Aristarco de Samos concluyó que el radio de la Luna era de 0,292 radios terrestres (su valor actual es 0,273) y que su distancia a la Tierra era de 67 radios terrestres (su valor actual es de 60). También dedujo que el radio del Sol era de 5,55 radios terrestres (el valor actual es de 109) y que su distancia a la Tierra era de 1275 radios terrestres (el valor actual es de 23 518).

ejemplo, que las más luminosas eran más densas que las menos luminosas, o bien que la luz de estas últimas era parcialmente bloqueada o absorbida por alguna forma de éter opaco interpuesto. Ninguna de estas hipótesis podía contrastarse de manera independiente, por lo que el problema de las diferencias de luminosidad permaneció sin resolver. La esfera de las estrellas fijas, si tenía un espesor finito, solo era capaz de contener un número finito y bastante reducido de estrellas. El número exacto no podía conocerse, porque ello implicaría el examen de todo el cielo nocturno en todas las latitudes de la Tierra, algo que en la práctica era imposible en el mundo antiguo. No obstante, se admitía, extrapolando las observaciones realizadas desde una determinada latitud, que el número de estrellas fijas debía ser del orden de los miles (el catálogo de Ptolomeo había registrado 1022 estrellas fijas visibles desde Alejandría).

Más allá de todas estas incertidumbres, había un supuesto básico implícito y nunca cuestionado. Este era la creencia de que *todos* los objetos que existen en el cielo son los que se observan a simple vista. Consecuentemente, se admitían solo siete planetas y algunos miles de estrellas, lo cual reforzaba la hipótesis de la finitud del universo. Los descubrimientos telescópicos de Galileo refutaron este presupuesto y sembraron dudas sobre el tamaño, e incluso la finitud, del universo. También entraron en crisis otros supuestos acerca de la composición de los cielos.

3. Los descubrimientos de Galileo

Galileo comenzó la observación de los cielos mediante su recién construido telescopio a fines de noviembre de 1609. Era un telescopio refractor de aproximadamente 20 aumentos, pero fue suficiente para descubrir una cantidad de nuevos tipos de objetos celestes que hicieron de Galileo una celebridad mundial. Se apresuró a publicar sus descubrimientos en un breve opúsculo de solo 29 páginas, *Sidereus nuncius* (en adelante SN), editado en Venecia el 13 de marzo 1610 (al día siguiente de terminado, ya que el prólogo está fechado el 12 de marzo).³ El descubrimiento de los cuatro satélites de Júpiter causó sensación, precisamente, porque refutaba el antiguo presupuesto de que los objetos celestes que existen son los que se observan

3 La cronología de los descubrimientos de Galileo ha sido relatada con detalle en diversas obras, como las de Drake (1978) y Heilbron (2010).

a simple vista. Si hay cuatro objetos celestes no visibles alrededor de un planeta visible, en principio, podría haber muchos otros más. Galileo vaciló acerca de cómo categorizar esos nuevos objetos. En una célebre carta a Antonio de Médici, del 7 de enero de 1610, afirmó que había visto “a Júpiter acompañado por tres estrellas fijas totalmente invisibles por su pequeñez” (SN, pp. 17-18). Después revisó esta descripción, ya que si esos cuatro cuerpos orbitaban alrededor de Júpiter modificando sus distancias relativas, no debían considerarse como estrellas fijas, sino como estrellas errantes, es decir planetas. Así los llamó genéricamente en *Sidereus nuncius* (pp. 37, 67), aunque luego los bautizó como “astros mediceos” (*medicea sidera*) en la propia portada de su obra. Con todo, se trataba de planetas de una especie diferente de los concebidos en la antigüedad, ya que no orbitaban alrededor de la Tierra, sino alrededor de una estrella errante. Eran, en este respecto, semejantes a la Luna de la astronomía copernicana, que orbitaba una Tierra móvil. Kepler, poco después, los recategorizaría como *satélites*, nombre que permanecerá hasta nuestros días. La nueva categoría terminaba, de manera definitiva, con la dicotomía antigua entre estrellas fijas y errantes. La Luna y los planetas mediceos quedaban desde entonces clasificados como satélites, ya no como planetas.

Galileo sostuvo en la carta citada que la causa de la invisibilidad de los astros mediceos era su pequeño tamaño. Esta parecía la única explicación plausible, ya que la distancia de estos cuerpos respecto de la Tierra debía ser aproximadamente la misma que la de Júpiter, un planeta claramente visible, dado que orbitaban en torno a dicho planeta. La explicación mediante la menor luminosidad intrínseca también quedaba descartada, ya que Galileo conjeturó que los planetas eran cuerpos opacos que brillaban reflejando la luz solar y, por tanto, presentaban un aspecto muy diferente del de las estrellas fijas cuando se observaban mediante el telescopio. Los planetas mostraban una figura redonda perfectamente delineada, mientras que las estrellas eran “como fulgores cuyos rayos vibran en torno y centellean notablemente” (SN, p. 62).

El descubrimiento más perturbador para los presupuestos de la astronomía antigua, y de la cosmología aristotélica que la sustentaba, fue el de la existencia de estrellas no visibles a simple vista, pero claramente discernibles con el telescopio. Galileo lo relató de esta manera:

Ahora bien, por debajo de las estrellas de sexta magnitud, verás, cosa difícil de creer, una numerosa grey de otras estrellas que escapan a la

visión natural; más de hecho que las que contienen los otros seis grados de magnitudes. Las mayores de ellas, que podemos denominar de séptima magnitud o de la primera magnitud de las invisibles, se ven gracias al antejo mayores y más claras que las de segunda magnitud observadas a simple vista. A fin de que tengas alguna que otra prueba de su increíble abundancia, he tenido a bien adjuntar dos constelaciones con las que te harás una idea de todas las demás. (SN, p. 63)

Galileo relató, entonces, que en la constelación de Orión, dentro de una distancia angular de no más de dos grados, se observaban más de quinientas estrellas invisibles, mientras que en la constelación de las Pléyades, dentro de una distancia angular de solo medio grado, se observaban más de cuarenta (SN, p. 65).

En *Sidereus nuncius*, Galileo no mencionó otras observaciones de estrellas invisibles en otras constelaciones, pero es casi seguro que las realizó. Con todo, la evidencia que había obtenido confirmaba, más allá de toda duda razonable, que en el cielo existían muchas más estrellas invisibles que estrellas visibles. Esa evidencia, además de la de los satélites de Júpiter, refutaba de manera concluyente el antiguo supuesto según el cual los únicos objetos celestes que existían eran los que se observaban a simple vista.

El descubrimiento de estrellas invisibles tenía amplias implicaciones astronómicas y cosmológicas. En primer lugar, obligaba a aumentar en al menos un orden de magnitud el número de las estrellas fijas respecto del número admitido desde la Antigüedad: de los miles a las decenas de miles, pero posiblemente mucho más. En segundo lugar, planteaba la pregunta acerca de por qué hay estrellas que no eran visibles a simple vista, pero resultaban claramente observables mediante el telescopio. En tercer lugar, suscitaba la pregunta acerca de cuántas estrellas invisibles existían y acerca cómo podían acomodarse estas dentro de una única esfera en un universo finito. Consideremos estas dos últimas cuestiones por separado.

Después de haber comunicado su descubrimiento, Galileo no se detuvo a explicar la causa de la invisibilidad de las numerosas estrellas que había observado a través del telescopio. Como puede comprobarse en muchas de sus obras, tenía una concepción empirista del conocimiento astronómico y era muy prudente, cuando no desconfiado, respecto de especulaciones cosmológicas tales como la del carácter finito o infinito del universo. No obstante, proporcionó una clave interpretativa cuando

explicó la composición de la Vía Láctea y de las nebulosas. El telescopio, y Galileo se enorgullece de ello, permitió resolver de una vez y para siempre, dirimiendo, “con la certeza que dan los ojos” (SN, p. 65), las disputas seculares acerca de la naturaleza de la Vía Láctea: esta “no es otra cosa que un conglomerado de innumerables estrellas reunidas en un montón” (SN, p. 66). Las nebulosas, por su parte, presentaban la misma composición:

Además [...] las estrellas que hasta este día han denominado todos los astrónomos nebulosas son cúmulos de estrellitas admirablemente esparcidas; por la mezcla de cuyos rayos, *al escapar del alcance de nuestra vista por su pequeñez o gran alejamiento de nosotros*, surge aquella blancura que hasta ahora se había tomado por una parte más densa del cielo capaz de reflejar los rayos del Sol o de las estrellas. (SN, p. 66; énfasis mío)

Galileo no sostuvo que las nebulosas podían ser otras galaxias, pero la analogía con la composición de la Vía Láctea sugería indudablemente esa hipótesis (que no sería confirmada hasta 1930). En cualquier caso, Galileo dejó en claro que había grandes conglomerados de estrellas que a simple vista se veían como una sola estrella pero que en realidad consistían en un agregado de múltiples estrellas que brillaban conjuntamente. La causa de esa apariencia, conjeturó, podía ser tanto su gran distancia como su pequeño tamaño. Galileo no se pronunció por ninguna de las dos hipótesis, pero es evidente que no son excluyentes, por lo que la invisibilidad de una estrella podría deberse tanto a su alejamiento de la Tierra como a su menor tamaño, comparada con el Sol. Las dos hipótesis tampoco son exhaustivas, porque ambas podrían ser falsas, siendo la causa de la invisibilidad la menor luminosidad intrínseca de algunas estrellas respecto de otras. También hay otras explicaciones posibles, como la absorción parcial de la luz por alguna forma de éter opaco interpuesto entre las estrellas y la Tierra.

Con todo, un hecho que Galileo descubrió con el telescopio proporcionaba un cierto grado de apoyo a la hipótesis de que las estrellas fijas están mucho más alejadas que los planetas. Advirtió que el telescopio aumentaba notablemente el tamaño de la Luna y los planetas, pero no el de las estrellas. Con el telescopio las estrellas se veían más luminosas, pero no más grandes. Según sus palabras:

[...] dicho aumento parece ser mucho menor en las estrellas, de manera que el antejo que consigue multiplicar los otros objetos en proporción céntuple [...], se diría que apenas aumenta las estrellas el cuádruplo o el quíntuplo. (SN, p. 61)

Este hecho se explica fácilmente suponiendo que las estrellas están mucho más alejadas de la Tierra que la Luna y los demás planetas y que las estrellas invisibles están, a su vez, mucho más lejos que las visibles. El argumento, por cierto, no es demostrativo, sino meramente inductivo. Por otra parte, no es la única explicación posible, ya que también se puede apelar a las diferencias de tamaño y de luminosidad intrínseca entre las estrellas visibles y las invisibles. No obstante, la hipótesis de la distancia es plausible a la luz del sistema copernicano, ya que este requiere que las estrellas se encuentren a una distancia mucho mayor que los planetas respecto de la Tierra. Esta era la hipótesis más empleada por los copernicanos, todavía muy pocos hacia 1610, para explicar la ausencia observaciones del ángulo de paralaje anual de las estrellas visibles. El sistema copernicano predecía la existencia de un ángulo de paralaje estelar máximo, cuando una estrella se observaba desde dos puntos opuestos de la órbita terrestre. Dicho ángulo resultaría muy pequeño, por debajo de los límites de la sensibilidad de los instrumentos disponibles, si las estrellas se encontraran muy distantes. Esta hipótesis era claramente *ad hoc* en ese momento, ya que había sido introducida en el sistema copernicano con la única finalidad de evitar la refutación de la hipótesis del movimiento orbital de la Tierra. No obstante, aunque no era contrastable en la práctica, en principio podía ser confirmada a medida que los instrumentos disponibles permitieran medir ángulos cada vez menores.⁴

El descubrimiento de Galileo de una multitud de estrellas invisibles resultaba altamente perturbador para la concepción tradicional de un universo finito encerrado dentro de los límites de la esfera de las estrellas fijas. Si las estrellas invisibles eran todas (aproximadamente, al menos) del mismo tamaño y la misma luminosidad intrínseca (comparable a la del Sol, por ejemplo), y su invisibilidad se debía solamente a la gran distancia a la que se encontraban, entonces, el universo debía ser mucho mayor de lo que se creía. En principio, el descubrimiento de cualquier número de

4 La historia de la búsqueda y el descubrimiento de la paralaje estelar constituye un capítulo fascinante de la astronomía que se relata con detalle en Hirshfeld (2013).

estrellas invisibles podía acomodarse en un universo finito, ampliando el espesor de la esfera de las estrellas fijas. Sin embargo, si mediante telescopios cada vez más potentes se revelaba un número cada vez mayor de estrellas invisibles, podía conjeturarse razonablemente que el universo era infinito y que el proceso de descubrimiento de nuevas estrellas invisibles no tenía fin. Por cierto, la evidencia no era ni podía ser concluyente, ya que siempre era susceptible de acomodarse en el contexto de un universo finito, existiera o no la esfera de las estrellas fijas. Galileo nunca se pronunció abiertamente sobre las dimensiones del universo, pero su descubrimiento podía considerarse como evidencia confirmatoria de la hipótesis de la infinitud del universo. En efecto, esta hipótesis implicaba que, si el espacio es infinito y está completamente poblado de estrellas, necesariamente debía haber estrellas invisibles. Kepler tuvo clara conciencia de estas implicancias del descubrimiento de Galileo y se propuso refutarlas.

4. La réplica de Kepler

Los descubrimientos telescópicos de Galileo no solo causaron sensación en todo el mundo, sino que también suscitaban dudas, cuestionamientos y actitudes escépticas. La confiabilidad del telescopio resultaba dudosa para muchos y, además, había en ese momento muy pocos instrumentos disponibles para replicar las observaciones. Kepler recibió el 8 de abril de 1610 una copia de *Sidereus nuncius* a través del embajador toscano en Praga, Giuliano de Medici, quien, en una entrevista del 13 de abril, le solicitó que escribiera un comentario. El 19 de abril Kepler le envió a Galileo a través de Giuliano de Medici el manuscrito de su comentario, titulado *Dissertatio cum nuncio sidereo* (en adelante DNS) que poco después, a principios de mayo, fue publicado en Praga (el prólogo está fechado el 3 de mayo), como un opúsculo de 34 páginas. Kepler daba allí su apoyo a todos los descubrimientos telescópicos de Galileo, aunque sin haber podido replicar sus observaciones, dado que no tenía un telescopio adecuado. No obstante, cuestionaba la interpretación de algunas de las observaciones, en particular, la de las estrellas invisibles. En una palabra, Kepler proponía acomodar ese descubrimiento en el contexto de un universo finito dotado de una esfera de las estrellas fijas de muy delgado espesor. El universo de Kepler, si bien era finito, resultaba enorme comparado con el ptolemaico e incluso con el copernicano (aunque minúsculo respecto del tamaño que

actualmente adjudicamos a la Vía Láctea).⁵ Kepler calculó que la esfera de las estrellas fijas se encontraba a 34 177 066 radios terrestres, por lo cual debía existir una enorme distancia entre la esfera de Saturno y la de las fijas, y, en consecuencia, un espacio vacío de todo objeto celeste, aunque, supuestamente, lleno de éter transparente.⁶

Kepler, al comienzo mismo de su opúsculo, hizo explícita su preocupación por las posibles implicaciones del descubrimiento de los cuatro nuevos planetas que orbitan Júpiter, no visibles para el ojo desnudo:

[...] de modo que si hasta ahora se habían ocultado allí cuatro planetas ¿qué nos habría de impedir creer que tras este exordio se habrían de detectar allí a continuación muchísimos otros? Por tanto, o el mundo este es infinito [...], o hay otros infinitos mundos (o Tierras, como dice Bruno) semejantes a este nuestro. (DSN, p. 102)

El mismo argumento se aplica, *a fortiori*, a las estrellas fijas, dado que si hay una “innumerable multitud” (DSN, p. 134) de estrellas invisibles, ¿por qué no podrían existir otras infinitas todavía no descubiertas? El principal argumento de Kepler contra la posibilidad de que existan infinitas estrellas, todas ellas semejantes al Sol, es nada menos que la conocida paradoja de Olbers, que ya Thomas Digges había advertido en 1576.⁷ Si hubiera un número infinito de estrellas en el cielo, todas ellas brillando simultáneamente, su luminosidad conjunta debería igualar o superar a la del Sol y, por tanto, el cielo nocturno no podría ser oscuro. Esto ocurriría aun cuando no hubiera infinitas estrellas. En sus palabras, un tanto cargadas de retórica:

5 En *Las hipótesis de los planetas*, Ptolomeo había estimado la distancia a la esfera de las estrellas fijas en 20 000 radios terrestres (1987, p. 85). En el universo copernicano esa distancia se estimaba, sin mucha precisión, en aproximadamente 1 500 000 radios terrestres. Una galaxia típica, como la nuestra, tiene un radio de 50 000 años luz.

6 Sobre las estimaciones de las distancias a la esfera de las fijas véase Van Helden (1985), pp. 62-63.

7 La historia de la paradoja de Olbers y de todas las soluciones propuestas se expone en el notable libro de Harrison (1987).

[...] si tomásemos solo mil de las fijas, no siendo ellas mayor de un minuto [...] y si las juntásemos todas en una superficie redonda, igualarían (y aún superarían) el diámetro del Sol. [...] Si esto es cierto, y si dichos Soles son del tamaño de nuestro Sol, ¿por qué todos esos Soles no superan en resplandor a este Sol nuestro? ¿Por qué todos ellos transmiten una luz tan débil a los lugares más abiertos [...]? (DSN, p. 135)

El argumento de Kepler es extremadamente fuerte porque, aunque cada estrella fuera invisible, la luz que emiten conjuntamente todas ellas debería ser visible (del mismo modo que un fotón individual no es visible, pero un agregado finito de fotones nos puede deslumbrar). El alejamiento de las estrellas invisibles no podría evitar la consecuencia de que el cielo nocturno brillara como la superficie del Sol, ya que si bien la luminosidad de cada una disminuye con el cuadrado de la distancia, esta nunca es nula, por tanto, la cantidad de luz emitida por infinitas estrellas debería crecer sin límite. Kepler descartó enseguida la solución a la paradoja sobre la base de la hipótesis de la distancia: “¿Me dices que se hallan alejadísimas de nosotros? De nada sirve, pues cuanto más lejos están tanto mayor que el diámetro del Sol es el de cada una de ellas” (DSN, p. 136). En efecto, si una estrella invisible se ve con el telescopio como una visible, cuanto más lejos se encuentre mayor deberá ser su tamaño (suponiendo que su luminosidad intrínseca sea constante). Luego, descartó otra posible explicación: “¿Qué tal vez el éter interpuesto las oscurece? Ni hablar, pues las vemos con sus centelleos y con sus diversas formas y colores, lo que no ocurriría si la densidad del éter representase algún obstáculo” (DSN, p. 136). La interposición de alguna materia opaca que absorbiera la luz estelar fue posteriormente una explicación bastante frecuente, que intentaba resolver la paradoja de Olbers, pero también fracasa porque dicha materia debería calentarse hasta radiar tanta luz como la que absorbiera.

La solución de Kepler a este enigma cosmológico, apenas esbozada en *Dissertatio*, es que debía existir un número finito de estrellas fijas y que estas tenían que ser mucho más pequeñas (y, por tanto, mucho menos luminosas) que el Sol. Esta era, en su opinión, la única manera de explicar la oscuridad del cielo nocturno: el cielo es oscuro porque no hay suficientes estrellas para cubrirlo. Para apoyar la hipótesis del tamaño diminuto de las estrellas invisibles, Kepler recurrió a una analogía con los satélites de Júpiter: “Ahora bien, Galileo, de tus observaciones se desprende que estos cuatro son diminutos, no alejándose nunca de Júpiter más de 14 minutos,

de manera que toda la órbita del planeta externo es menor que el disco del Sol o de la Luna” (DSN, p. 142). Los satélites de Júpiter, efectivamente, son invisibles a causa de su pequeño tamaño comparado con el tamaño del planeta alrededor del cual orbitan. De allí, sin embargo, no se sigue que lo mismo ocurra con las estrellas fijas invisibles. No obstante, el argumento, proporciona cierto apoyo inductivo a la hipótesis de Kepler. Por otra parte, la imposibilidad de que existan infinitas estrellas se sigue inmediatamente de la finitud de la esfera de las fijas, que solo puede contener un número finito de estrellas de tamaño no nulo (asumiendo que el tamaño no puede ser infinitesimalmente pequeño).

La hipótesis del tamaño de Kepler era coherente con su creencia en que la esfera de las estrellas fijas tenía un espesor sumamente delgado. Como copernicano, Kepler, lo mismo que Galileo, debía admitir que la esfera de las estrellas fijas estaba muy alejada de la esfera de Saturno (de otro modo, la ausencia de paralaje estelar anual refutaría la hipótesis del movimiento orbital de la Tierra). Pero, a la vez, creía que la esfera de las estrellas fijas era muy delgada, lo cual explicaba la apariencia de una gran bóveda celeste vacía de estrellas que envolvía al Sistema Solar. En el segundo volumen de *Epitomes astronomiae copernicanae*, publicado en 1620, Kepler proporcionó el resultado de sus complicados cálculos sobre el tamaño de la esfera de las fijas, basados en diversos supuestos incontrastables acerca de la cantidad de materia contenida en el universo.⁸ Concluyó que la esfera de Saturno se encontraba a una distancia de 2000 diámetros solares del Sol, mientras que la esfera de las fijas estaba a una distancia de 4 000 000 de diámetros solares. El cálculo del espesor de esta esfera resultó un número sorprendentemente pequeño: solo 6/1000 del radio solar, lo que equivalía aproximadamente a 2000 millas alemanas (*Epitomes*, p. 288). Kepler calificó a esta delgada esfera, usando una analogía muy adecuada, como “una piel” que envuelve al universo.

De estos cálculos, se seguían consecuencias fundamentales para la cosmología. Entre otras: a) el espesor de la esfera de las fijas es despreciable respecto de su distancia a la Tierra (la relación es 1/1333 333 333). b) Todas las estrellas fijas, visibles o invisibles, están casi a la misma distancia de la Tierra. c) La distancia que separa a las estrellas entre sí, sobre un mismo eje radial respecto de la Tierra (o del Sol), es muy pequeña. d) Todas las

8 Véase Martens (2000), que señala los supuestos aristotélicos de Kepler.

estrellas fijas son sumamente pequeñas comparadas con el Sol (su radio debe ser necesariamente menor que $6/1000$ del radio solar). e) Si las estrellas invisibles son menores que las visibles, su tamaño debe ser extremadamente pequeño (suponiendo que la luminosidad de todas las invisibles sea la misma). f) Dada su gran distancia y pequeño tamaño, la luminosidad intrínseca de las estrellas invisibles debe ser enorme, mucho mayor que la del Sol. No había en el sistema de Kepler otra manera de acomodar la existencia de muchos miles de estrellas invisibles en la delgadísima esfera que las contenía. Aunque el número de estrellas fijas fuera del orden de las decenas de miles, como se desprendía de las observaciones de Galileo, dado que las estrellas invisibles eran muy pequeñas, no había un número suficiente de ellas como para cubrir todo el cielo.

5. Balance epistemológico de la controversia

Ni Kepler ni Galileo dispusieron durante su vida de ninguna evidencia observacional que permitiera determinar la distancia a la que se encontraban las estrellas, visibles o invisibles, ni, mucho menos, su tamaño o su luminosidad intrínseca. La medición de la paralaje anual de al menos una estrella visible (que Galileo intentó sin éxito en varias ocasiones) no habría zanjado la polémica, porque habría dejado indeterminada la distancia de las estrellas invisibles. La medición del ángulo de paralaje se logró recién en 1838, cuando el orden de magnitud de las distancias estelares ya se estimaba con bastante aproximación (a partir de fenómenos astronómicos como el de la aberración de la luz estelar y otros). La medición de la paralaje estelar solo imponía una distancia mínima a las estrellas invisibles. No obstante, era razonable suponer que, si no se observaba paralaje anual en ninguna estrella invisible, era porque estas se hallaban más alejadas que las estrellas visibles, independientemente de cuál fuera su tamaño. Si se encontraran a igual o menor distancia que las estrellas visibles cuya paralaje se podía medir, el telescopio (junto con el micrómetro, el instrumento que permitió esa medición) debería revelar también la paralaje de las estrellas invisibles. Pero, dado que en tiempos de Galileo y Kepler, ninguna paralaje era medible, este argumento no estaba disponible, de modo que no había manera de estimar ni siquiera la distancia mínima a la que se encontraban las estrellas invisibles.

En 1610, cualquier número finito de estrellas invisibles podía acomodarse, sobre la base de la hipótesis de la distancia, manteniendo fijo el tamaño de las estrellas, pero aumentando el espesor de la esfera de las fijas. Igualmente, cualquier número finito de estrellas invisibles podía acomodarse, sobre la base de la hipótesis del tamaño, manteniendo fijo el espesor de la esfera de las fijas, pero disminuyendo sucesivamente el tamaño de las estrellas invisibles. En cualquiera de los dos casos, toda la evidencia disponible sobre las estrellas invisibles se podía acomodar en el marco de un universo finito. En verdad, ninguna evidencia astronómica puede refutar la hipótesis de que el universo es finito ni, por consiguiente, verificar la hipótesis de que el universo es infinito. Cualquier estrella invisible que se observe mediante cualquier telescopio necesariamente debe estar a una distancia finita (un punto sobre el que Kepler insistió con toda razón). La hipótesis de la finitud del universo es estrictamente *irrefutable*, por lo que cualquiera fuera la distancia a la que se encontraran las estrellas invisibles, nada se seguiría de allí acerca de la posible infinitud del universo.

Había, por lo demás, otras hipótesis posibles que podían explicar la invisibilidad de las estrellas, por ejemplo, que tienen luminosidades intrínsecas cada vez menores, las cuales son independientes de la distancia y del tamaño. Las hipótesis en disputa que menciona Galileo, la de la distancia y la del tamaño, no son genuinamente rivales, ya que no son incompatibles entre sí. Las estrellas invisibles podían serlo porque eran a la vez más lejanas y más pequeñas, o bien porque eran intrínsecamente menos luminosas y, además, estaban oscurecidas por materia opaca, o bien por cualquier combinación de dos, tres o cuatro de las hipótesis explicativas: distancia, tamaño, luminosidad y materia opaca. Todas estas hipótesis son *conjuntamente compatibles*, pero ni Kepler ni Galileo parecen haberlo advertido. Tampoco dejaron lugar para otras hipótesis desconocidas, ya que las cuatro mencionadas *no son exhaustivas* de todas las posibilidades.

Es indudable que tanto Kepler como Galileo disponían de evidencia que proporcionaba algún grado de apoyo a sus respectivas hipótesis, pero ese apoyo era débil. En particular, la evidencia no permitía refutar ni la hipótesis de la distancia ni la del tamaño de las estrellas invisibles. Además, comparativamente, ninguna de las dos hipótesis se encontraba mejor confirmada que la otra. La observación telescópica de estrellas invisibles a simple vista se podía explicar igualmente bien suponiendo que eran mucho más pequeñas que el Sol o suponiendo que estaban mucho más lejos

que las estrellas visibles. Por consiguiente, la disputa entre Galileo y Kepler era en la práctica imposible de zanjar. La única manera de hacerlo habría sido obtener evidencia (independiente de la observación de estrellas invisibles) acerca de la distancia a la que se encontraban las estrellas fijas.

Las dos hipótesis en disputa estaban *subdeterminadas* por la evidencia disponible en ese momento. Se dice que dos o más hipótesis o teorías están subdeterminadas por la evidencia disponible cuando todas son compatibles con dicha evidencia (dentro del margen del error observacional o experimental). Cuando dichas hipótesis o teorías son empíricamente equivalentes, es decir, cuando implican las mismas consecuencias observacionales, la subdeterminación entre ellas no es transitoria sino permanente porque, por principio, no hay ninguna evidencia posible que pudiera confirmar a una de ellas y refutar (o disconfirmar) a alguna de las otras.⁹ Un ejemplo de este tipo de subdeterminación se encuentra ya en la astronomía ptolemaica: el modelo epicíclico (donde el deferente está centrado en la Tierra) y el modelo excéntrico (donde el centro de la órbita no coincide con la posición de la Tierra) del movimiento del Sol son empíricamente equivalentes, de modo que ninguna observación sería capaz de discriminar entre ellos.¹⁰ La subdeterminación de las hipótesis de Galileo y Kepler era del tipo meramente transitorio. No se trataba de hipótesis empíricamente equivalentes, de modo que, en principio, era posible encontrar evidencias que confirmaran solo a una de ellas. En ese momento, sin embargo, no se disponía de ninguna evidencia clara a favor de una o la otra.

En casos de subdeterminación suele apelarse a otras virtudes epistémicas para favorecer la aceptación de alguna de las hipótesis que se consideraran rivales. Si las hipótesis en cuestión son empíricamente equivalentes,

9 Para un estudio detallado de las dos formas de subdeterminación véase Bonk (2008), especialmente el capítulo 2.

10 En la astronomía ptolemaica, el radio de los epiciclos y la excentricidad de las órbitas son parámetros libres cuyo valor puede fijarse a voluntad para acomodar los movimientos planetarios observados. Lo mismo vale para las velocidades de los epiciclos. Si el radio del epiciclo es igual a la excentricidad de la órbita, y su velocidad se fija de modo apropiado, ambos modelos son geoméricamente equivalentes, ya que producen la misma trayectoria, un hecho ya advertido por Apolonio de Pérgamo. Véase la prueba de la equivalencia geométrica en Evans (1998), p. 213 y Linton (2004), pp. 45-46.

los criterios no factuales, como la *simplicidad*, son los únicos que pueden emplearse. Aparentemente, Ptolomeo se inclinó por admitir el modelo excéntrico del movimiento del Sol en razón de su mayor simplicidad geométrica y física, ya que implicaba aceptar un solo círculo, contra los dos del modelo epicíclico (desde el punto de vista físico, requería una sola esfera cristalina en vez de dos). En otros aspectos, sin embargo, no parece haber ventajas de simplicidad entre los dos modelos, por ejemplo, en lo relativo a la facilidad de cálculo.¹¹ En el caso de las hipótesis de Galileo y Kepler, parece evidente que la simplicidad no favorece particularmente a ninguna de las dos.

La *coherencia* con el conjunto de otras creencias aceptadas también debe considerarse una razón de peso para aceptar una hipótesis determinada. La hipótesis de la distancia de Galileo era coherente con su compromiso copernicano, que, como ya se indicó, implicaba aumentar notablemente el tamaño del universo. Por otra parte, la hipótesis del tamaño de Kepler era coherente con sus creencias acerca de la existencia de una esfera de las estrellas fijas de muy delgado espesor, que solo podía contener un número grande de estrellas invisibles suponiendo que estas eran muy pequeñas. Tanto Galileo como Kepler fueron consecuentes en este respecto y mantuvieron la coherencia de sus respectivos sistemas de creencias.

Retrospectivamente, podemos decir que Galileo acertó y Kepler estaba equivocado: la cusa de la invisibilidad de las estrellas no es su pequeño tamaño, sino su gran distancia. Pero eso no era en absoluto evidente en ese momento. En particular, no podemos afirmar que Galileo tenía mejores razones para aceptar la hipótesis de la distancia que las que Kepler tenía para aceptar la hipótesis del tamaño. Tampoco había razones no fácticas evidentes a favor de una o la otra. En esa situación, la actitud más racional era la suspensión del juicio, como debería hacerse sobre cualquier hipótesis físicamente posible para la cual no se dispone de suficiente evidencia confirmatoria (como ocurre, por ejemplo, con la de la existencia de vida extraterrestre). Con todo, cabe preguntarse, ¿podría progresar la ciencia si se generalizara esa actitud escéptica?

11 Véase una análisis de esta cuestión debatida en Evans (1998), pp. 216-219.

Referencias

- Aristarco de Samos (1913). *On the Sizes and Distances of the Sun and Moon*. Edición y traducción de Th. Heath. Oxford: Clarendon Press.
- Aristóteles (1965). *De caelo*. Edición y traducción de P. Moraux. Paris: Les Belles Lettres.
- Bonk, T. (2008). *Underdetermination: An Essay on Evidence and the Limits of the Natural Knowledge*. Dordrecht: Springer.
- Digges, Th. (1576). *A Perfit Description of the Caelestiall Orbes*. London: Thomas Marsh.
- Drake, S. (1978). *Galileo at Work: His Scientific Biography*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Evans, J. (1998). *The History and Practice of Ancient Astronomy*. New York: Oxford University Press.
- Galileo (1610). *Sidereus nuncius*. Venecia: Tomas Baglione. Reimpreso en A. Favaro (ed.) *Le opere di Galileo Galilei*. Vol. III, I (pp. 54-96). Firenze: Barberá, 1907. Traducción española de C. Solís Santos en: Galileo-Kepler, *El mensaje y el mensajero sideral* (pp. 92-152). Madrid: Alianza, 1984.
- Harrison, E. (1987). *Darkness at Night: A Riddle of the Universe*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Heilbron, J. L. (2010). *Galileo*. New York: Oxford University Press.
- Hirshfeld, A. (2013). *Parallax: The Race to Measure the Cosmos*. Second Edition. New York: Dover.
- Kepler, J. (1610). *Dissertatio cum sidereo nuncio*. Praga: Daniel Sedesanus. Reimpreso en: M. Caspar & F. Hammer (eds.) *Johannes Kepler Gesammelte Werke*. Band IV (pp. 284-311). München: Beck, 1931.

Traducción española de C. Solís Santos en: Galileo-Kepler, *El mensaje y el mensajero sideral* (pp. 92-152). Madrid: Alianza, 1984.

Kepler, J. (1620). *Epitomes astronomiae copernicanae. Liber quartus. Doctrinae theoricæ primus*. Linz: Gottfried Tambach. Reimpreso en: M. Caspar (ed.) *Johannes Kepler Gesammelte Werke*. Band VII. München: Beck, 1991.

Linton, C. (2004). *From Eudoxus to Einstein: A History of Mathematical Astronomy*. New York: Cambridge University Press.

Martens, R. (2000). *Kepler's Philosophy and the New Astronomy*. Princeton: Princeton University Press.

Ptolomeo, C. (1987). *Las hipótesis de los planetas*. Madrid: Alianza.

Van Helden, A. (1985). *Measuring the Universe: Cosmic Distances from Aristarchus to Halley*. Chicago: The University of Chicago Press.



Naturaleza disciplinar de la astrobiología

Octavio Chon Torres*

Resumen

La astrobiología es una disciplina científica que estudia el origen y futuro de la vida en el universo. Sin embargo, para poder llevar a cabo su tarea, necesita de la confluencia de varias disciplinas, lo que la hace poseer ciertas características que no tienen otras disciplinas por sí solas. Según la hoja de ruta astrobiológica de la NASA, esta ciencia es interdisciplinar, pero luego vemos que según otros autores se apunta a que es transdisciplinar. Finalmente, también existe la crítica sobre si realmente se trata de una disciplina científica por sí misma y no de un programa de investigación más. En esta oportunidad trataré sobre la discusión de la naturaleza disciplinar de la astrobiología, con un abordaje de sus aspectos filosóficos para poder tener una posible respuesta ante esta problemática.

Palabras clave: *Astrobiología, interdisciplinariedad, transdisciplinariedad, filosofía.*

Abstract

Astrobiology is a scientific discipline that studies the origin and future of life in the universe. However, in order to carry out its task, it needs the confluence of several disciplines, which makes it possess certain characteristics that other disciplines alone do not have. According to NASA's astrobiology roadmap, this science is interdisciplinary, but then we see that for other authors it is transdisciplinary. Finally, there is also the criticism as to whether it is really a scientific discipline in its own right and not just another research program. In this opportunity I will discuss the disciplinary nature of astrobiology, with an approach to its philosophical aspects in order to have a possible answer to this problem.

* Universidad de Lima (ULima), Perú

Keywords: *Astrobiology, interdisciplinarity, transdisciplinarity, philosophy.*

Introducción

La astrobiología es la disciplina científica que estudia la posibilidad de vida en el universo. Esta ciencia que surgió primero como un proyecto de investigación en los años 90 (Dick & Strick), fue poco a poco tomando cuerpo y forma. Y es que el hecho de haber nacido no como ciencia *per se* sino como un esfuerzo conjunto, no quiere decir que permanezca de forma eterna como un anexo de otras ciencias. Para que la astrobiología pueda desarrollarse en el ámbito académico, necesita de la ayuda y colaboración entre distintas disciplinas. Por ejemplo, no basta la exobiología, que estudiaría la vida en entornos fuera de la Tierra, sino que también se incluyen las ciencias planetarias, e incluso las ciencias sociales y humanidades. Es así como en la hoja de ruta de astrobiología de la NASA (Des Marais et al., 2008) se habla que esta es una multi e interdisciplinaria, por lo que necesita de la colaboración de diferentes disciplinas científicas para lograr sus objetivos. A nivel epistemológico, llama la atención a qué se quieren referir con la idea de multi e interdisciplina, ya que no parece ser el caso que en su publicación se muestran de forma extensa sus definiciones. Y, por otro lado, tenemos que para algunos autores la astrobiología se muestra más como una transdisciplina (Santos et al., 2016; Chon-Torres, 2021; Gómez-Gómez & Hochberg, 2014), y otros más como una interdisciplina (Cockell, 2002; Race et al, 2012). Finalmente, no queda claro ni parece existir un consenso acerca de la naturaleza disciplinar de la astrobiología.

Por tal motivo, el objetivo de este trabajo es discutir en torno a las nociones disciplinarias de la astrobiología. Para lograrlo, repasaremos algunos conceptos claves, como la multidisciplinariedad, interdisciplinariedad y transdisciplinariedad. Las definiciones de las que se derivará esta discusión vendrán de la publicación de Mennes (2020), Leavy (2011), Nicolescu (1996), entre otros, ya que reúnen posiciones sintetizadas a partir de aquellos conceptos. Finalmente, se llegará a una conclusión que nos permita tener una opinión sobre la naturaleza disciplinar de la astrobiología.

Multidisciplinariedad

Para Leavy (2011), la multidisciplinariedad viene a ser la colaboración entre disciplinas, cada una manteniendo su propia forma de trabajo sin tener que compenetrarse necesariamente entre sí. “Multi-Disciplinarity: Collaboration between two or more disciplines without integration” (Leavy, 2011). Esto coincide con Mennes (2020), cuando declara que:

Multidisciplinarity does not challenge disciplinary boundaries, which means that it is (only) as risky as mono-disciplinarity, and that it fosters the growth and development of disciplines. Finally, multidisciplinarity allows to gain insight into how disciplines relate to each other in the light of a given subject [La multidisciplinariedad no desafía los límites disciplinarios, lo que significa que es (sólo) tan arriesgada como la monodisciplinariedad, y que fomenta el crecimiento y el desarrollo de las disciplinas. Por último, la multidisciplinariedad permite comprender cómo se relacionan las disciplinas entre sí a la luz de un tema determinado] (p.18, traducción del autor).

En otras palabras, para ambos autores la multidisciplinariedad sigue el margen de la perspectiva de la especialización del conocimiento. No logra una interacción mayor. A pesar de contar con un ambiente de trabajo entre pares académicos de otras disciplinas, los trabajos multidisciplinarios tienen esa limitación. Si lo orientamos hacia la visión de la astrobiología, evidentemente no podemos pensar que la multidisciplinariedad es suficiente para ella, por lo que no basta solo con ser multidisciplinar. El “perfil” disciplinario epistémico de la astrobiología no podría surgir solo con la suma de las partes. Este reflexión puede servir también para pensar otras formas disciplinarias como las ciencias de la salud o la educación, cuyos objetos de estudio no pueden limitarse a maneras multidisciplinarias de trabajar.

Sin embargo, para Scalice (2019):

Astrobiology is a multidisciplinary, diverse, and expansive endeavor, involving many seemingly disparate investigations. If astronomy, biology, chemistry, geology, paleontology, physics, and planetary science can be thought of as individual threads, then as the intersections of and spaces between these disciplines are explored by astrobiologists, the threads are brought together and woven into an interdisciplinary tapestry depicting a story of our origins, our place in the universe, and our search to find life elsewhere [La astrobiología es un esfuer-

zo multidisciplinar, diverso y amplio, que implica muchas investigaciones aparentemente dispares. Si la astronomía, la biología, la química, la geología, la paleontología, la física y la ciencia planetaria pueden considerarse como hilos individuales, a medida que los astrobiólogos exploran las intersecciones y los espacios entre estas disciplinas, los hilos se unen y se tejen en un tapiz interdisciplinario que describe una historia de nuestros orígenes, nuestro lugar en el universo y nuestra búsqueda de vida en otros lugares (p. 49, traducción del autor).

Este concepto podría conciliar la noción sobre multidisciplinariedad y astrobiología, ya que la noción de lo multi- serviría como base considerándolo como el conjunto de conocimientos adquiridos, pero que en la práctica se logra superar y puede alcanzar la interdisciplinariedad. Esto es lo que, probablemente, quiera decirnos la descripción que se hizo desde la *NASA Astrobiology Roadmap* (Des Marais et al., 2008), nos dicen que la astrobiología es: “Astrobiology is multidisciplinary in its content and interdisciplinary in its execution. Its success depends critically upon the close coordination of diverse scientific disciplines and programs, including space missions” [La astrobiología es multidisciplinaria en su contenido e interdisciplinaria en su ejecución. Su éxito depende fundamentalmente de la estrecha coordinación de diversas disciplinas y programas científicos, incluidas las misiones espaciales] (p. 716, traducción del autor).

Sin embargo, esto suscita una siguiente interrogante, y es que: ¿es posible que la multidisciplinariedad coexista con la interdisciplinariedad? A continuación, examinamos el concepto de interdisciplinariedad.

Interdisciplinariedad

Para Leavy (2011), “Interdisciplinarity: Collaboration between two or more disciplines with varying levels of integration of concepts, theories, methods and findings” [Interdisciplinariedad: Colaboración entre dos o más disciplinas con distintos niveles de integración de conceptos, teorías, métodos y resultados]. Este concepto no involucra una integración total necesariamente, pero sí existe una interacción a un nivel más profundo. Sin embargo, esta interacción, según la misma autora reflexiona, puede que dejen intactos los límites disciplinarios, y esto supondría una diferencia con el concepto de transdisciplinariedad.

De hecho, Nicolescu (1996) en su Manifiesto de la transdisciplinariedad, señala que:



La interdisciplinariedad tiene una pretensión diferente a la de la pluridisciplinariedad, pues se refiere a la transferencia de los métodos de una disciplina a otra [...] la interdisciplinariedad desborda las disciplinas, pero su finalidad también sigue inscrita en la investigación disciplinaria (p. 37).

Por ejemplo, nos comenta esta autor que es lo que ha venido sucediendo con la matemática y la física. Los aportes de aquella hacia esta última permitieron el surgimiento de la física matemática. En otras palabras, la interdisciplinariedad sí puede integrar formas de trabajo o metodologías entre disciplinas, pero esto se hace de una forma que una de ellas termina preponderante. Podría decirse que se trata de una disciplina que lidera y orienta, como si fuera el horizonte de trabajo. Existe una disciplina más importante -sin lugar a ser relevada en ningún momento- que otras en términos de jerarquía.

Sin embargo, en la descripción de Mennes (2020),

Interdisciplinarity allows to forge break-throughs regarding problems that fall outside the scope of (collections of) individual disciplines. The novel combinations of disciplinary elements it generates, can result in the enriching of existing disciplines, or in the emergence of new disciplines. [La interdisciplinariedad permite abrir caminos en relación con problemas que quedan fuera del ámbito de las (colecciones de) disciplinas individuales. Las novedosas combinaciones de elementos disciplinarios que genera pueden dar lugar al enriquecimiento de las disciplinas existentes o a la aparición de otras nuevas] (p. 18, traducción del autor).

No queda claro el nivel de integración que se manifiesta en la interdisciplinariedad en esta definición, pero sí señala el autor que la diferencia entre la multi, inter y transdisciplinariedad estaría en el nivel de integración que presenta cada una, de menor a mayor en el orden propuesto. Lamentablemente, en el trabajo citado se menciona que no se desarrolla el concepto de transdisciplinariedad, por lo que nos queda la duda para saber una comparación más precisa, y lo más que comenta acerca de lo trans- es que incluiría disciplinas no académicas.

Aún así, la astrobiología en su situación disciplinar sí puede responder al concepto de interdisciplinariedad descrito por estos autores. Si existe cierto nivel de integración en el trabajo astrobiológico, ¿pero entendemos por “integración” la combinación de métodos, o la complementariedad de métodos? Epistemológicamente hablando, resultaría complicado “inte-

grar” metodologías, porque cada disciplina posee un *modus operandi* propio, y que esto responde al nivel de complejidad del objeto de estudio en cuestión. No sería conveniente, desde este punto de vista, hablar de una integración propiamente dicha, porque podríamos estar frente a forma de reduccionismo holista (es decir, el todo más que la suma de las partes).

Lo que sí tendría sentido y podría suplir esta dificultad, es lo que corresponde a la definición de Nicolescu (1996). Existe un nivel de integración metodológica entre disciplinas, pero en función de una disciplina horizonte, es decir, que una disciplina “asimile” aspectos o variables comúnmente usadas en otras disciplinas, como en el caso de la matemática y la física. Podríamos decir lo mismo de la bioética, donde no necesariamente se realiza biología, pero se toman elementos y conceptos de la biología para una discusión y abordaje filosófico. Así, si queremos darle sentido al concepto de interdisciplinariedad para fines prácticos, esta podría ser una propuesta de solución.

Entonces, ¿la astrobiología termina siendo solo una forma interdisciplinar de ciencia? No necesariamente, ya que en astrobiología confluyen diferentes áreas del saber y sí, existe interdisciplinariedad, pero quizás esto no sea todo, ya que la transdisciplinariedad también nos puede ofrecer una manera de entenderla desde otro ángulo.

Transdisciplinariedad

Al respecto, Leavy (2011) reflexiona sobre los límites de la multi e interdisciplinariedad:

It is important to acknowledge that multi-disciplinarity and interdisciplinarity have contributed enormously to moving the research community forward by getting disciplines to think about how they are related to each other and to start working together on issues of import [...] Nevertheless, these approaches can only go and have only gone so far. [Es importante reconocer que la multidisciplinariedad y la interdisciplinariedad han contribuido enormemente a hacer avanzar a la comunidad investigadora al conseguir que las disciplinas piensen en cómo se relacionan entre sí y empiecen a trabajar juntas en temas de importancia. [...] Sin embargo, estos enfoques sólo pueden llegar y han llegado hasta cierto punto] (traducción del autor).

Según la autora, el nivel de integración que presenta la multi e interdisciplinariedad no resulta suficiente para abordar problemas de gran complejidad. Si reflexionamos un poco al respecto, nos podemos dar cuenta de la razón. En la interdisciplinariedad, a pesar de tener un grado mayor de integración entre áreas de estudio, no termina por superar los enfoques disciplinarios o mono disciplinarios. Hasta cierto punto podrían acentuarlos. Para el entendimiento de la dimensión astrobioética, por ejemplo, no basta solo con la mirada de la bioética, se requiere del enfoque de la sociología, historia, etc. Sin embargo, no basta solo con la reunión de trabajo de diferentes especialistas, cada uno dando su punto de vista sin que necesariamente emerja algo realmente interconectado de sus propuestas (la cual puede ser una de las limitaciones de la multidisciplinariedad). Así, tenemos que la transdisciplinariedad:

In essence, transdisciplinarity presupposes that contemporary social/human issues and problems can only be understood and solved if viewed holistically and not artificially broken down into narrow research purposes that suit different disciplinary lenses. [En esencia, la transdisciplinariedad presupone que las cuestiones y los problemas sociales y humanos contemporáneos sólo pueden entenderse y resolverse si se consideran de forma holística y no se dividen artificialmente en estrechos propósitos de investigación que se adaptan a diferentes lentes disciplinarias] (Leavy, 2011, traducción del autor).

La manera holista de abordar los problemas complejos que enfrenta la transdisciplinariedad es una característica que también comparte en ideas Nicolescu (1996). La transdisciplinariedad lleva a un nivel más cercano la comunicación entre los expertos de cada disciplina, generándose un espacio potencial de intercambio y creatividad. En ello también coinciden Santos et al. (2016):

Transdisciplinarity does not suppress the discipline boundaries but provides a perspective from a level above, in which those boundaries are anchored. The transdisciplinary space adds a third dimension to the domain, in which multidisciplinary and interdisciplinarity operate [La transdisciplinariedad no suprime los límites de las disciplinas, sino que proporciona una perspectiva desde un nivel superior, en el que esos límites están anclados. El espacio transdisciplinar añade una tercera dimensión al ámbito en el que operan

la multidisciplinariedad y la interdisciplinariedad] (p. 255, traducción del autor).

Esta dimensión adicional que genera el espacio transdisciplinar es el idóneo para poder resolver problemas complejos, no solo desde una perspectiva multi o interdisciplinar solamente -aunque es posible que estas dos últimas puedan contribuir al esfuerzo. Lo que supone que la transdisciplinariedad es compatible con formas multi e interdisciplinarias, toda vez que sean adecuadamente orientadas y aplicadas al contexto en el que se desarrolla. Por ello, Kolb (2019) acierta cuando nos dice que:

Interdisciplinary and transdisciplinary nature of astrobiology is especially needed for the study of cosmic evolution. Progress in understanding of the individual steps of this evolution has been made based mostly on the multidisciplinary approach. However, a full integration of the insights from the individual disciplines that are involved in these evolutionary steps has not yet been achieved. This is notably the case for the cosmic evolutionary step of the origin of life on Earth. [El carácter interdisciplinario y transdisciplinario de la astrobiología es especialmente necesario para el estudio de la evolución cósmica. Los avances en la comprensión de los distintos pasos de esta evolución se han basado sobre todo en el enfoque multidisciplinar. Sin embargo, todavía no se ha logrado una integración completa de los conocimientos de las disciplinas individuales que participan en estos pasos evolutivos. Este es el caso, en particular, del paso evolutivo cósmico del origen de la vida en la Tierra] (p. 5, traducción del autor).

El aporte de las maneras multidisciplinarias no deja de ser importante, así como también el que proviene de la interdisciplinariedad. Sin embargo, para efectos de precisar la terminología epistemológica para concebir la naturaleza disciplinar de la astrobiología, resulta importante indicar que su naturaleza se inclina más por la transdisciplinariedad. Y el énfasis terminológico viene porque al fin de al cabo, la forma en la que entendemos y nos movemos en el mundo tanto de la vida diaria como académica, está basada en constructos, en conceptos, en ideas, y que sin ellas no podríamos tener un manejo apropiado y alturado de las situaciones. Cuando tenemos un manejo oportuno de los conceptos y sus significados, ello permite dar luz a escenarios donde no se tiene muy en claro qué tenemos al frente. Por ejemplo, no sería adecuado decir solamente que la astrobiología es una forma superior de interdisciplinariedad, ya que ello limitaría un entendimiento más profundo de sus reales características.



La transdisciplinariedad es complementaria al enfoque disciplinario: de la confrontación de las disciplinas, hace surgir nueva información que las articula entre sí, y nos ofrece una nueva visión sobre la Naturaleza y la Realidad. La transdisciplinariedad no busca el dominio de varias disciplinas, sino la apertura de todas las disciplinas a aquellos que las atraviesan y las trascienden (Nicolescu, 1996, p. 106).

Complementariedad y no exclusión. La visión transdisciplinar se asemeja a la de una circunstancia en donde en diferentes momentos cada disciplina tiene su función, pero ninguna se superpone a las otras tratando de reducirlas a su marco metodológico (lo que la haría más interdisciplinar), sino que a medida que se desarrolla en el campo de estudio, se va perfilando la mirada que resalta el prefijo *trans*.

Tampoco sería una casualidad que la necesidad por formas transdisciplinarias de trabajar emerjan en estos tiempos, ya que más bien se trataría de una respuesta a las necesidades que caracterizan este mundo globalizado y tecnológico (Leavy, 2011). Y no sería sorpresa. No olvidemos que la ciencia es un producto cultural y, como tal, responde a las necesidades de la humanidad. El concepto de ciencia y disciplina es uno que se encuentra en la discusión epistemológica -y por lo tanto filosófica-, por lo que no resulta ser un proceso acabado, sino de constante problematización, alimentado por los nuevos descubrimientos y avances en el conocimiento. Por ello, resulta interesante ver cómo en la *Policy guidelines on research and education* de la Unesco (2017) se resalte el papel de la transdisciplinariedad tanto en la investigación como en al educación.

Por ello, no podemos negar la naturaleza de la astrobiología como disciplina científica. Dudar de ello sería solo enfocarse en las formas reducidas de entender cómo se comportan las disciplinas científicas. No es viable pensar que por haber nacido como un proyecto de investigación (Lazcano & Hand, 2012), deba ser descartado como una nueva ciencia. Para comprender el concepto de ciencia y definir qué es ciencia o no, hay que adentrarse en el terreno filosófico -particularmente epistemológico-, y para ello la reflexión de los conceptos y usos de los términos resulta de vital importancia.

Conclusión

La astrobiología puede ser entendida como una ciencia transdisciplinar. Ello no supone la exclusión de formas multi e interdisciplinarias. Es importante tener en consideración la característica disciplinar de la astrobiología para no desmerecerla. Esta apertura permite que tanto ciencias naturales como sociales puedan interactuar y generar formas de entendimiento que superen las limitaciones propias de cada disciplina. Esto representa un reto para las formas tradicionales de trabajo disciplinar, pero que lleva consigo buenos resultados en la práctica.

Es necesario, por otro lado, desarrollar más los conceptos y nociones sobre las diferencias de grado entre lo multi, inter y transdisciplinar, con motivo de saber qué terminología usar no solo para la astrobiología, sino también para otras áreas del saber. De esta manera, el investigador podrá identificar qué formas de trabajo emplear para cada escenario, distinguiendo entre una situación en la que se baste una disciplina de estudio de otra en la que es necesario tener una perspectiva mayor que conecte ideas de otros campos del saber.

Referencias

- Barge, L. M., Pulschen, A. A., Mendes Emygdio A. P., Curtis Congreve, C., Darío E. Kishimoto, D. E., Amanda G. Bendia. A. G., Teles, A. de M. M., DeMarines, J., & Stoupin, D. (2013). *Astrobiology*, 13(3)303-308. Doi: 10.1089/ast.2012.0834
- Chon-Torres, O. (2021). Disciplinary nature of astrobiology and astro-bioethic's epistemic foundations. *International Journal of Astrobiology*, 20(3), 186-193. Doi: 10.1017/S147355041800023X
- Cockell, C. (2002). Astrobiology—a new opportunity for interdisciplinary thinking. *Space Policy*, 18(4), 263–266. Doi: 10.1016/s0265-9646(02)00039-5
- Dick, S.J. & Strick, J.E. (2004). *The living universe: NASA and the development of astrobiology*. New Brunswick: Rutgers University Press.

- Des Marais, D.J., Nuth III, J.A., Allamandola, L.J., Boss, A.P., Farmer, J.D., Hoehler, T.M., Jakosky, B.M., Meadows, V.S., Pohorille, A., Runnegar, B. & Spormann, A.M. (2008). The NASA astrobiology roadmap. *Astrobiology* 8, 715–730. Doi: 10.1089/ast.2008.0819
- Gómez-Gómez, J. M. & Hochberg, D. (2014) Aiming for Transdisciplinary Science: Reflections and Guidelines. *Interdisciplinary Science Reviews*, 39(2), 130-142. Doi: 10.1179/0308018814Z.00000000081
- Kolb, V. M. (2019). Astrobiology: Definition, Scope, and a Brief Overview. En V. M. Kolb (Ed.). *Handbook of astrobiology* (pp. 3-13). Boca Raton, Florida: Taylor & Francis.
- Lazcano, A., Hand & K. (2012). Frontier or fiction. *Nature*, 488, 160–161. Doi: 10.1038/488160a
- Leavy, P. (2011). *Essentials of Transdisciplinary Research. Using Problem-Centered Methodologies*. Left Coast Press.
- Nicolescu, B. (1996). *La transdisciplinariedad. Manifiesto*. Recuperado de http://www.udea.edu.co/portal/page/portal/bibliotecaSedes-Dependencias/unidadesAcademicas/FacultadCienciasExactas-Naturales/Biblioteca_Disenio/Archivos/General/Transdisciplinariedad.pdf
- Race, M., Denning, K., Bertka, C. M., Dick, S. J., Harrison, A. A., Impey, C., & Mancinelli, and Workshop Participan, R. (2012). Astrobiology and Society: Building an Interdisciplinary Research Community. *Astrobiology*, 12(10), 958–965. Doi: 10.1089/ast.2011.0723
- Santos, C., Alabi, L., Friaça, A. & Galante, D. (2016). On the parallels between cosmology and astrobiology: a transdisciplinary approach to the search for extraterrestrial life. *International Journal of Astrobiology*, 15, 251–260. Doi: 10.1017/S1473550416000094

Scalice, D. (2019). Astrobiology as Origins Story Education and Inspiration across Cultures. En V. M. Kolb (Ed.), *Handbook of astrobiology* (pp. 49-54). Taylor & Francis.

Unesco (2017). *Guidelines on sustainability science in research and education*. Recuperado de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000260600>



Hacia un encuentro con una civilización extraterrestre: motivaciones y nuevas categorías epistemológicas

José G. Funes*

Catalina Peccoud‡

Viviana Polisena‡

Resumen

En el marco del proyecto OTHER (Otros mundos, Tierra, Humanidad y Espacio Remoto) nos preguntamos por la objetividad y la motivación en el observador científico que va al encuentro del Otro con las categorías de su mundo, en particular, de civilizaciones extraterrestres, empleando categorizaciones que permiten ver civilizaciones similares a las nuestras. Se hace necesario el replanteo y la flexibilización de las categorías para permitir que el Otro aparezca y se haga presente en su diversidad. En este encuentro con el Otro nos preguntamos por el papel de la ciencia: ¿cómo vamos al encuentro de una inteligencia extraterrestre? ¿Con qué motivaciones? La espiritualidad podría ser un marco interpretativo desde el cual preparar y entender un potencial primer contacto con una civilización extraterrestre.

Palabras clave: *Civilizaciones extraterrestres, Observador científico, Espiritualidad.*

Abstract

Within the framework of the project OTHER (Other worlds, Earth, Humanity and Remote Space) we wonder about the objectivity and the motivation of the scientific observer who goes to meet the Other with the categories of her/his world, particularly we analyze the encounter with extraterrestrial civilizations. Because most probably we would use cate-

* Universidad Católica de Córdoba (UCC) - (CONICET).

‡ Facultad de Filosofía y Humanidades, Universidad Católica de Córdoba (UCC).

gorizations that allow us to see civilizations like ours it is necessary to rethink categories more flexible to allow the cosmic Other to appear in its full diversity. We consider that spirituality could offer an interpreting framework to prepare and understand a potential first contact with an extraterrestrial civilization.

Keywords: *Extraterrestrial civilizations, Scientific Observer, Spirituality.*

Introducción

La pregunta por la existencia de vida inteligente en el universo ha desencadenado muchos proyectos científicos sobre su búsqueda. El potencial descubrimiento de una inteligencia extraterrestre podría ser el próximo gran salto para el ser humano como en 1969 Neil Armstrong lo describió al desembarcar en el Mar de la Tranquilidad: “Un pequeño paso para hombre, un salto gigante para la humanidad”¹. O en términos de la revolución copernicana, como ha señalado Sara Seager, experta mundial en exoplanetas: “Si y cuando encontremos que otras Tierras son comunes y veamos que algunas de ellas tienen signos de vida, por fin habremos completado la revolución copernicana - un movimiento conceptual final de la Tierra y la humanidad, lejos del centro del Universo. Esta es la promesa y la esperanza de la búsqueda de exoplanetas: la detección y caracterización de mundos habitables”².

Además, como señala Nathalie Cabrol: “Para encontrar ET, debemos expandir nuestras mentes más allá de una perspectiva terrícola-céntrica profundamente arraigada y reevaluar conceptos que se toman por descontados”³. También deberíamos dejar el sesgo del paradigma biogeocéntrico⁴.

1 https://en.wikiquote.org/wiki/Neil_Armstrong (15-10-2021).

2 S. Seager, *Searches for Habitable Exoplanets*, in *Frontiers of Astrobiology* editado por C. Impey, J. Lunine y J. Funes, 2012, Cambridge University Press, New York, p. 231

3 N. Cabrol, *Alien Mindscapes—A Perspective on the Search for Extraterrestrial Intelligence*, 2016, *Astrobiology*, 16, 661

4 J. Chela-Flores, *The New Science of Astrobiology from Genesis of the Living Cell to Evolution of Intelligent Behavior in the Universe*. 2001, Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic.

La búsqueda de vida inteligente en el cosmos, con la fascinación que suscita en la opinión pública, presenta nuevos desafíos y nuevas fronteras para la ciencia, la filosofía y la religión que abordamos en el Proyecto OTHER (Otros mundos, Tierra, Humanidad y Espacio Remoto)⁵. Se trata de un laboratorio de ideas que intenta dar un enfoque multidisciplinar de la búsqueda de otros mundos habitados. Este tipo de investigación nos permite considerar la diversidad más profunda: la otredad cósmica. Considerar la existencia de una civilización extraterrestre es pensar en un Otro distinto a los humanos que conforman las múltiples civilizaciones que habitan el planeta Tierra.

Un poco de historia

La idea de la existencia de otros mundos habitados no es ciertamente nueva. Ya Alberto Magno (1193-1280) comentaba: “Puesto que una de las cuestiones más maravillosas y nobles en la Naturaleza es si hay un mundo o muchos... Nos parece deseable investigar al respecto.”⁶ Desde el tiempo de los filósofos griegos el debate sobre la pluralidad de los mundos fue más intenso entre epicúreos (a favor de la pluralidad) y aristotélicos (a favor de la unicidad). Nicolás de Cusa (1401-1464) sostuvo la idea de otros mundos habitados, especulando sobre la naturaleza de los extraterrestres.⁷

Por las serias consecuencias históricas que produjo, merece una especial mención el pensamiento de Giordano Bruno (1548-1600). Este pensador adoptó el heliocentrismo de Nicolás Copérnico (1473-1543) transformándolo en una visión del universo infinito y eterno con estrellas, semejantes al Sol, con mundos circundantes y habitados. Bruno criticó la idea de Copérnico porque éste se detuvo en la matemática, no enfrentando los problemas filosóficos de la nueva visión del mundo. Así para Bruno, la Tierra es un planeta semejante a otros que pueden ser denomina-

J. Chela-Flores, *A Second Genesis: Stepping Stones Towards the Intelligibility of Nature*, 2009, Singapore: World Scientific.

5 Sobre el Proyecto OTHER se puede consultar el blog blog.ucc.edu.ar/other/.

6 Cfr. M.J. Crowe, *The Extraterrestrial Life Debate, 1750-1900*, 1999, Dover Publications, Inc., Mineola, New York, p. 6.

7 *Ibid.*, p. 8.

dos *otras Tierras*⁸. Otro punto que se puede resaltar en el pensamiento de Bruno es que niega la noción de *centro* en un universo infinito. Para no alargarnos demasiado, sólo mencionamos que es importante considerar la idea de otros mundos habitados en el pensamiento de Johannes Kepler y de Galileo Galilei (1564-1642).⁹

Menos conocido es el caso del jesuita Angelo Secchi (1818 - 1878), astrónomo, uno de los fundadores de la astrofísica moderna que fue el primero en clasificar estrellas en clases espectrales. Secchi en el siglo XIX ya se había ocupado de la existencia de otros mundos habitados, de la cual estaba convencido. Escribía Secchi: “Pero lo creado que contempla el astrónomo, no es simplemente una masa de materia incandescente. Es un cuerpo prodigioso y allí donde cesa el resplandor de la materia, comienza la vida. Aunque esto no es observable a sus telescopios, sin embargo, a partir de la analogía con nuestro globo podemos argumentar la existencia de vida en general en los otros. La constitución atmosférica de otros planetas en algunos lugares es semejante a la nuestra. Esas estrellas similares a nuestro Sol, nos convencen de que esos cuerpos, o se encuentran en un estadio similar a nuestro sistema, o atraviesan períodos ya recorridos, o están por recorrer”.¹⁰

Ya en el siglo XIX Secchi, como muchos científicos hoy, estaba convencido que vivimos en un universo favorable a la vida: “La vida llena el Universo, y con la vida va asociada la inteligencia. Así como abundan seres inferiores a nosotros, es posible que en otras condiciones existan seres inmensamente más capaces que nosotros”.¹¹

Para completar esta breve introducción histórica cabe considerar las iniciativas en el Siglo XX y en las dos primeras décadas del siglo XXI. Como señala Steven Dick¹², el debate de la vida extraterrestre debe colo-

8 Cfr. A. Fantoli, *Extraterrestri: Storia di un'idea dalla Grecia a oggi*, 2008, Carocci editore, Roma, p. 44-45.

9 Cfr. A. Fantoli, *Extraterrestri: Storia di un'idea dalla Grecia a oggi*, 2008, Carocci editore, Roma, p. 51-78 y M.J. Crowe, *The Extraterrestrial Life Debate, 1750-1900*, 1999, Dover Publications, Inc., Mineola, New York, p. 9-13.

10 A. Secchi, *Le Stelle*, Dumolard, Milano, 1877, p. 337.

11 A. Secchi, *Le Soleil*, Gauthier-Villars, Parigi, 1870, p. 418

12 S. Dick, *Societal Impact of Discovering Extraterrestrial Life en Astrobiology, History, and Society Advances in Astrobiology and Biogeophysics*, 2013, Springer

carse en el contexto de la evolución cósmica. Él describe los componentes principales del debate, que incluyen (1) el papel de la ciencia planetaria, (2) la búsqueda de planetas más allá del sistema solar, (3) la investigación sobre los orígenes de la vida y (4) Búsqueda de Inteligencia Extraterrestre – SETI por sus siglas en inglés.

En 1961 el radioastrónomo Frank Drake, en el contexto de una reunión científica sobre SETI, formuló la denominada ecuación de Drake.

La formulación clásica de la ecuación es la siguiente:

$$N = R^* \times f_p \times n_e \times f_l \times f_i \times f_c \times L$$

donde N es el número de civilizaciones en la Vía Láctea cuyas emisiones electromagnéticas son detectables. Podríamos agrupar los factores de la ecuación en tres grupos.

a) Factores astronómicos:

R^* : tasa de formación de estrellas en nuestra galaxia

f_p : fracción de las estrellas que tienen sistemas planetarios

n_e : número de planetas por sistema estelar con un ambiente adecuado para la vida

b) Factores biológicos:

f_l : fracción de planetas en los que la vida realmente aparece

f_i : fracción de planetas habitados en los que existe vida inteligente

c) Factores sociales:

f_c : fracción de civilizaciones inteligentes que desarrollan tecnología que transmiten signos detectables de su existencia

L : tiempo de actividad tecnológica en el que tales civilizaciones envían signos detectables

Vale la pena notar que la ecuación se refiere solamente a aquellas civilizaciones que podrían existir en nuestra galaxia compuesta de alrededor

de 100 mil millones de estrellas que a su vez podrían contar con sistemas planetarios a su alrededor.¹³

También la ecuación intenta cuantificar el número de civilizaciones tecnológicas capaces de enviar mensajes electromagnéticos o en las que podamos detectar marcadores tecnológicos de mega-estructuras o de una atmósfera llena de contaminantes que podrían implicar la existencia de una civilización.

Nos interesa señalar que esta ecuación no es un formalismo matemático para calcular las probabilidades de recibir un mensaje de una civilización extraterrestre, sino que sobre todo es un mapa mental que nos permite describir la problemática y pone de manifiesto el carácter multidisciplinario de esta investigación científica. En otras palabras, podemos representar la ecuación de Drake como un instrumento que nos ofrece un marco interpretativo – una hermenéutica- que nos brinda una perspectiva cósmica para indagar sobre la búsqueda de inteligencia extraterrestre considerando múltiples disciplinas científicas. Sobre la naturaleza multi, inter y transdisciplinar de la astrobiología se puede ver el tratamiento que Octavio Chon-Torres da al tema.¹⁴

A propósito de mega-estructuras que podrían ser de origen alienígena, un ejemplo de la importancia de la cuestión la proporciona el reciente debate sobre la naturaleza del objeto Oumuamua que podría cambiar nuestra comprensión y detección de civilizaciones extraterrestre. Éste es el primer objeto observado de origen interestelar en el Sistema Solar. Bialy y Loeb (2018)¹⁵ consideran un origen artificial para dar cuenta de las propiedades físicas observadas. Según estos autores, Oumuamua podría ser una sonda operativa enviada intencionalmente a la vecindad de la Tierra por una civilización alienígena. ¿Se trata Oumuamua de un objeto natural o artificial? En este sentido, una pregunta filosófica que subyace

13 Se ha escrito mucho sobre la ecuación de Drake. Una buena introducción histórica y un completo análisis de cada uno de los factores puede encontrarse en el libro de D. A. Vakoich y M.F. Dowd, *The Drake Equation: Estimating the Prevalence of Extraterrestrial Life through the Ages*, 2015, Cambridge University Press.

14 O. Chon-Torres, *Disciplinary nature of astrobiology and astroethic's epistemic foundations*, *International Journal of Astrobiology*, 20 (2021), 186.

15 S. Bialy and A. Loeb, *Could Solar Radiation Pressure Explain Oumuamua's Peculiar Acceleration?*, 2018, *The Astrophysical Journal Letters*, 868, L1

a lo largo de la ecuación de Drake y en todo programa de investigación SETI es cómo discernir entre una señal u objeto natural y otro artificial.

Más allá de Aristóteles

La ecuación de Drake nos plantea el tema de la búsqueda científica de un Otro extraterrestre con categorías que requieren un replanteo epistemológico.

Si bien para Aristóteles el pensamiento tiene la capacidad de reflejar lo real, es decir, que las formas del pensamiento reproducen la realidad tal y como es, desde la modernidad comenzó a indagarse por las formas del conocimiento. El ser humano puede conocer aquello que aparece bajo las formas de la sensibilidad, de la experiencia y dentro de las categorías de espacio y tiempo. Con el advenimiento de la contemporaneidad el problema por los límites del conocimiento se traslada al lenguaje. El lenguaje condiciona nuestras maneras de conocer, aquello que no ingresa dentro de las categorías del lenguaje no es posible de ser conocido a menos que ampliemos nuestras categorías. Los límites de nuestro mundo son los límites de nuestro lenguaje (Wittgenstein, 1975)¹⁶.

Cuando hablamos de un Otro lo hacemos desde lo que sabemos de nosotros mismos, y lo que, consiguientemente, hacemos es extender nuestro conocimiento a este Otro verificando en el mismo acto si forma parte de nosotros o si lo aislamos o excluimos, o bien si permanece oculto, no visto, dado que lo diferente no se patentiza por no haber continuidad con lo conocido. Por esto mismo, es necesario plantearnos categorizaciones-herramientas, que nos posibiliten que lo diferente se haga presente.

Aristóteles fue quien sentó las bases del pensamiento occidental con el desarrollo de la lógica que indaga por las formas del lenguaje y por consiguiente del pensamiento.

El conocimiento científico funciona desde un punto de vista epistemológico como una red que se arroja sobre lo real y de lo cual solo conocemos aquellos que entra o es tomado por la red, el científico ensaya hipótesis que lanza sobre la realidad y la interpretación que construye es

16 L. Wittgenstein, *Tractatus Logico-Philosophicus*, 1975, 14ed, Madrid. Alianza.

precisamente: una construcción, que resiste mientras no es removida por otra interpretación que la nueva red proporcione.¹⁷

El pensamiento occidental viene signado por la primacía de la definición que recorta un campo de la realidad, la categoriza. Pensamos con los atributos aristotélicos de género y diferencia específica. Vale decir que al momento de pensar en un Otro Extraterrestre lo hacemos desde las categorías del lenguaje, que determinan lo que podemos conocer y en última instancia, lo que es real. Por tanto, al ir al encuentro de este Otro lo hacemos desde nuestras categorizaciones, haciendo extensivo lo que sabemos de nosotros mismos a estos Otros de quienes nada sabemos. De este modo nos enfrentamos a la dificultad de hallar al Otro.

Frente a este riesgo nos surgen interrogantes. ¿Debemos crear una nueva categorización más amplia que nos permita incluir a estos Otros posibles sin asignarles rasgos o caracteres humanos? ¿Seremos capaces de construir conceptos flexibles que permitan que lo Otro en su especificidad aparezca y se haga presente? ¿Podremos pensar más allá del pensamiento occidental y de sus categorías para permitir el acceso al conocimiento de otras formas de vida inteligente? ¿Qué definiría en ese caso la vida inteligente de estos seres distintos de nosotros? ¿Somos parte de una familia cósmica espiritual más grande? ¿Podemos establecer una relación intersubjetiva con otras especies espirituales? ¿Vivimos en un universo que favorece la existencia de seres espirituales?

Apenas comprendemos la interacción entre la vida y el medio ambiente en el proceso evolutivo de la aparición de seres dotados de inteligencia. Por este motivo, es aún más difícil considerar la cuestión de si una génesis espiritual es un producto necesario de la evolución cósmica o si pudo haber sucedido en la Tierra por casualidad, como resultado del desarrollo de eventos particulares en la historia humana.

Consideramos que los seres espirituales son sujetos autoconscientes, capaces de pensamiento y lenguaje abstractos, conceptuales y simbólicos, con capacidad de trascender la realidad material. Así, el concepto de la noosfera tal como lo introdujo Teilhard de Chardin sería una esfera que alberga seres espirituales vivos (Funes, Florio, Lares y Asla, 2019¹⁸).

17 En referencia a esta temática se puede leer el texto de E. Sábato, *El ictiólogo, el metafísico y el epistemólogo* en *Expansión del Universo, Uno y el Universo*, 1945.

18 J.G. Funes, L. Florio, M. Lares, M. Asla, *Searching for Spiritual Signatures in SETI Research*, en *Theology and Science*, Taylor & Francis Group, Reino Unido,

El encuentro con el Otro en categorías culturales, científicas y éticas

El pensamiento analógico es casi la única herramienta de la que disponemos para pensar un encuentro entre seres inteligentes-espirituales en el sentido apenas mencionado.

La analogía se ha definido como “una similitud estructural o funcional entre dos dominios del conocimiento”, más precisamente, “un mapeo del conocimiento de un dominio (la base) a otro (el objetivo) de modo que un sistema de relaciones que se mantienen entre los objetos base también se mantienen entre los objetos de destino”.¹⁹

En el mejor de los casos, la analogía es un mecanismo cognitivo que nos permite aprender y resolver problemas dibujando un mapa de lo conocido a lo desconocido. Mary Hesse ha observado que los modelos y las analogías son parte integral de la práctica y el avance científicos²⁰. Las analogías y los modelos son particularmente necesarios en el caso de la búsqueda SETI²¹. Teniendo en cuenta esto podemos pensar en dos modelos de encuentro con una civilización extraterrestre.

Encuentro diacrónico

Como señala Steven Dick, asumiendo que una señal SETI es descifrada y significativa se transmite información, el flujo de información entre civilizaciones terrestres a lo largo del tiempo encuentra un análogo tentador en la transmisión del conocimiento griego y árabe a través de los árabes hasta el occidente latino en los siglos XII y XIII. Este es un ejemplo de lo que el historiador Arnold Toynbee, en su masivo estudio de la historia, llamó *Encuentros entre civilizaciones en el tiempo*. Aquí necesitaríamos la competencia arqueológica y semiótica para descifrar un mensaje y su con-

2019, <https://doi.org/10.1080/14746700.2019.1632550>.

19 S.J. Dick, *Astrobiology, Discovery, and Societal Impact*, Cambridge University Press, Kindle Edition, 2018.

20 M.B. Hesse, *Models and Analogies in Science*, 1960, Notre Dame: University of Notre Dame Press, 1966.

21 Funes, J.G., Florio, L., Lares, M., Asla, M., *Searching for Spiritual Signatures in SETI Research*, en *Theology and Science*, Taylor & Francis Group, Reino Unido, 2019, <https://doi.org/10.1080/14746700.2019.1632550>

texto histórico y cultural. El desafío, a modo de un experimento mental, consistiría en imaginar la forma y el contenido de un mensaje interestelar.

Otra aproximación al estudio de civilizaciones extraterrestres lo hace Claudio Maccone aplicando un modelo matemático a la historia humana de todas las Civilizaciones Occidentales durante un período de 2500 años. Concluye que su modelo matemático es capaz de estimar cuánto más avanzada que los humanos sería una civilización alienígena si SETI tuviera éxito²². Esto permitiría estimar las probabilidades de recibir un mensaje de una civilización extraterrestre. En el Proyecto Other, hemos hecho esta estimación. En resumen, las probabilidades son escasas²³.

Encuentro sincrónico. Una perspectiva latinoamericana

Lo más próximo sucedido en nuestra historia que nos permite entender cómo podría darse un encuentro simultáneo con un otro absolutamente diverso es el descubrimiento de América. En este contexto, lo diferente comenzó a ser nombrado, surge la categoría de *indio*, como categoría social que se aplicaba homogéneamente a todos los pueblos originarios que habitaban este continente y que refería inferioridad en la relación asimétrica entre colonizadores (nombradores) y colonizados (nombrados).

En *La Conquista de América: El problema del Otro*, Tzvetan Todorov sostiene que hay una contribución a eso que se llama el *encuentro de dos mundos*, encuentro marcado por el etnocentrismo europeo a partir del cual el originario es diferente y sin cultura, lo que impidió un encuentro real, pues se operó una omisión del otro.

Dice Todorov: “Desde 1492 estamos, como dice Las Casas, “en este tiempo tan nuevo y tan nunca otro tal visto ni oído”. Desde entonces, el mundo está cerrado (aunque el universo se haya vuelto infinito), *el mundo es pequeño* como lo declarará el mismo Colón. Los hombres descubrieron la totalidad de

22 C. Maccone, *Evolution and History in a new “Mathematical SETI” model*, Acta Astronautica, 2014, 93, 317.

23 M. Lares, J.G. Funes, L. Gramajo, *Monte Carlo estimation of the probability of causal contacts between communicating civilisations*, International Journal of Astrobiology, 2020, 19, 393.

la cual forman parte, mientras que hasta entonces constituían una parte sin todo.”²⁴

En este sentido ¿es posible pensar que el encuentro con un Otro extraterrestre significaría el completamiento del todo? ¿Así como en el descubrimiento de América el ser humano descubre la totalidad de la cual formaba parte, el encuentro de otros no terrestres implicará una ampliación de esa totalidad de la que hasta ahora el ser humano forma parte?

Nuestras motivaciones

Nos preguntamos por la cuestión de la objetividad en el observador científico que necesariamente va al encuentro del Otro extraterrestre con las categorías de su mundo. Por tanto, es necesario volver la mirada sobre el propio científico-descubridor, para indagar los condicionamientos previos y reconocer el sesgo de lo ya conocido, por otra parte, inevitable. Se hace necesario la flexibilización de las categorías para permitir que el Otro aparezca y se haga presente en su diversidad

Así nos encontramos ante dos caras de la actividad científica. Por una parte, la investigación analítica que disecciona y desmenuza; y la del científico-intérprete, que quiere conocer, que busca denodadamente otras culturas, e intenta aproximarse ellas, que presupone que está frente a un Otro que puede comunicarse, y con el cual intenta el acercamiento para entender cómo funciona esta cultura diversa. En ambos casos, volvemos la mirada sobre la objetividad en las ciencias y la cuestión de las categorizaciones y los límites del conocimiento.

Fundamentalmente, planteamos la importancia de poner de manifiesto la cuestión ética que subyace a la producción del conocimiento. Estas preguntas nos conducen al ámbito de la astrobioética²⁵.

En este encuentro con el Otro nos preguntamos por el papel de la ciencia: ¿cómo vamos al encuentro del extraterrestre? ¿Con qué intereses?

Como parte de nuestra investigación en el Proyecto OTHER, en el 2021 realizamos una encuesta entre estudiantes de pregrado de un grupo

24 T. Todorov, T., *La Conquista de América: El Problema del Otro.*, 2010, Siglo XXI Editores, 14.

25 O. Chon-Torres, *Disciplinary nature of astrobiology and astrobioethic's epistemic foundations*, 2021, International Journal of Astrobiology, 20, 186.

de universidades jesuitas en los Estados Unidos y América Latina en las carreras tecnológicas, humanistas y en el ámbito de las ciencias naturales. Nuestro estudio nos permitirá comparar los resultados provenientes de diferentes regiones culturales del mundo. La pandemia limitó la encuesta exclusivamente a un formato online provocando algunos problemas de selección como la distribución del cuestionario.

La encuesta pretende explorar el papel de la espiritualidad, entendida como el anhelo humano de trascendencia, en la investigación SETI. Nuestro objetivo es probar la hipótesis de que la espiritualidad es un motor en esta búsqueda y en la capacidad de comunicarse con las especies extraterrestres inteligentes. Además, investigaremos si la formación académica es un factor determinante que podría desencadenar o ralentizar nuestro deseo de contactar con una civilización alienígena. Esta búsqueda está conectada a una relación más amplia entre la ciencia y la espiritualidad.

Un enfoque multidisciplinario para la búsqueda de mundos habitables podría generar un campo completamente nuevo de estudios humanistas y científicos a nivel universitario. Estos estudios podrían motivar a las jóvenes generaciones a explorar más profundamente lo que significa ser específicamente humanos y desarrollar una mejor comprensión de quiénes somos desde una perspectiva verdaderamente cósmica. En la búsqueda de respuestas a las grandes preguntas que plantea la investigación SETI señalamos algunos desafíos:

1. El descubrimiento de otros mundos habitados podría ser la próxima revolución copernicana. Esto podría significar la necesidad de desafiar nuestras convicciones actuales si es necesario.
2. Los desafíos que plantea hoy SETI deben entrar en el horizonte de nuestras reflexiones filosóficas y teológicas. En los últimos años se ha desarrollado la llamada astroteología que reflexiona desde la fe sobre estos retos²⁶.

26 Sobre el tema ver: *Astrotheology, Science & Theology Meet Extraterrestrial Life*, 2018, editado por T. Peters Martinez Hewlett, J. Moritz, y R. Russell, Cascade Books, Eugene (Oregon), EEUU

3. Creemos que el diálogo interreligioso es crucial en nuestro tiempo. El descubrimiento de la existencia de un Otro extraterrestre podría poner en duda algunas de las creencias más fundamentales de las religiones.

Pensamos publicar próximamente los resultados de este estudio²⁷.

Conclusión

Podemos decir que, así como el ser humano era una parte sin el todo hasta antes del descubrimiento de América, del mismo modo la conciencia cósmica se completará con el acceso al conocimiento de otras civilizaciones en exoplanetas a partir del cual el universo se volverá pequeño, pues estaremos descubriendo una nueva totalidad para la que tenemos que pensar fuera de las categorías terrícolas, con categorías más amplias, más flexibles, más amigables, y de allí también, que cobra importancia el cómo vamos al encuentro con el Otro, se hace presente la problematización ética.

En una perspectiva fenomenológica podemos decir que el objeto (una civilización extraterrestre o terrícola) está ahí donándose al sujeto (una civilización extraterrestre o terrícola), no es instrumentalidad lineal en la que el sujeto observa, descubre al objeto, hay un darse del objeto al sujeto. Entonces pueden estar ahí disponibles, como lo estaban las civilizaciones americanas, que no fueron vistas como civilizaciones.

En este viaje cósmico al encuentro de un Otro radicalmente diverso valen las palabras de T.S. Eliot: "The journey, Not the destination matters..."

27 J.G. Funes, C. Murúa y M. Lares en preparación.



Entre códigos y conocimientos

Xavier Huvelle*

Resumen

Este trabajo discute la relación entre el código de una simulación y su consideración como conocimiento y de los peligros que resultan en verlos como tales sin cuidados particulares. Las consecuencias pueden ser dramáticas acerca de la validez de las investigaciones realizadas. Para ello analizamos dos casos observacionales, el famoso objeto *Oumuamua* y de un estudio realizado por Namouni y Morais acerca del posible origen interestelar de objetos transneptunianos con orbitas retrogradas. Concluimos que si bien podemos lograr que ciertos conocimientos pueden ser codificados y formar una relación código-conocimiento, no todos pueden actualmente aspirar a este estatuto.

Palabras clave: *filosofía de la ciencia, epistemología, programación, simulaciones computacionales, astronomía.*

Abstract

This paper discusses the relationship between the code of a simulation and its consideration as knowledge and the dangers that result in seeing it as such without particular care. The consequences can be dramatic regarding the validity of the research carried out. For this, we analyze two cases of experiments, the famous Oumuamua object, and a study carried out by Namouni and Morais about the possible interstellar origin of trans-Neptunian objects with retrograde orbits. We conclude that although we can achieve that certain knowledge can be codified and form a code-knowledge relationship, not every codes can currently aspire to this status.

Keywords: *philosophy of science, epistemology, programming, computer simulation, astronomy.*

* Centro de Investigaciones de la Facultad de Filosofía y Humanidades (UNC) – (CONICET).

Introducción

Al construir las primeras computadoras, algunas teorías como el computacionalismo emergieron, en la que se emparentaba la cognición humana con los programas usados para controlar las computadoras. Von Neumann (Von Neumann y Goldstine, 1947), Simon y Newell (1971) son algunos de los defensores de la equivalencia¹ entre conocimientos y programas. La idea de tener a disposición una computadora para mimetizar un cerebro humano, podría revelarnos estos principios y mecanismos que nos escapaban al estudiar un ser humano. El conocimiento que uno tenía podía en principio ser observado en el flujo informacional dentro de una máquina y en la que los principios que guían el proceso de decisión y de resolución de problemas se encontraban claramente expresados en el código del programa computacional. Conocimiento y código son, en este programa de investigación, sinónimos y en el que simular se entiende como un estadio experimental para probar estrategias con el afán de refinarlas para alcanzar una solución deseada.

En astronomía la tesis de que el código es conocimiento parece haber revivido desde otra perspectiva con objetos y efectos distintos. Esta vez no se busca estudiar al ser humano en sí, sino al universo, su formación y evolución, su desenvolvimiento, sus objetos y causas y su devenir. Uno de los problemas mayores que enfrenta esa disciplina es todo lo relativo a la observación, sus modos e interpretaciones. Los datos escasean o abundan, dependen de lapsos observacionales cortos o demasiados grandes, son accesibles y luego inaccesibles o directamente no pueden ser observados y dependen puramente de teorías. Las simulaciones computacionales emergen como herramientas ideales para poder sustituir o limitar las faltas y los excesos. Sin embargo, no se debe olvidar que el mayor uso de simulaciones computacionales tiene que ver con una necesidad de computar y proveer datos numéricos sobre los objetos que deseamos observar. Algunos de los primeros en hacer tal uso fueron Swarzschild y Hoyle (Hoyle y Swarzschild, 1955) y Aarseth (1985). Swarzschild y Hoyle necesitaron usar

1 El computacionalismo defiende la idea que los procesos mentales en un ser humano y en una máquina son equivalentes o hasta idénticos. Se consideró en los primeros días de la inteligencia artificial que la computadora podría ser un instrumento que nos revelarían los secretos del funcionamiento del cerebro humano.

computadoras para poder calcular las estructuras estelares de las ramas de las gigantes rojas en el diagrama H-R (Hertzsprung-Russell). Mientras que Aarseth se ha dedicado en estudiar la evolución estelar a través del código de *N-cuerpos*. Una de las diferencias más notables entre ambas perspectivas es que en el caso de Swarzschild y Hoyle las simulaciones eran usadas para apoyar las hipótesis en base a un modelo, en cambio para Aarseth la simulación es el modelo, es el objeto de estudio y el proveedor de datos. En Aarseth, la simulación y en particular el código es visto entonces como conocimiento que posee una cierta independencia con posibles hipótesis y no como una ayuda para sostener una hipótesis. Este trabajo explora esta perspectiva, sus peligros y beneficios, así como su aplicación en dos casos interesantes; a) el objeto conocido como Oumuamua y b) el de simulación de objetos de origen interestelares que residen en la órbita de Júpiter. Concluimos que existe un uso importante de la relación código-conocimiento que, si bien es necesaria, se encuentra creando problemas serios en el ámbito de la astronomía y de la astrofísica.

Discusión

Aarseth desarrolló uno de los códigos más importantes en simulación computacional para estudiar la dinámica de los *N-cuerpos*². Los *N-cuerpos* fueron uno de los mayores problemas de la astronomía en los tiempos de Newton y en la que se buscaba determinar los movimientos individuales de un conjunto de objetos astronómicos que interactúan entre ellos por efectos de la gravedad. En un principio estos objetos eran los planetas del sistema solar pero luego fue extendido a la dinámica de los sistemas o cúmulos globulares de estrellas. Este problema es considerado resuelto en un modelo Newtoniano y el código desarrollado por Aarseth suele ser reusado o incorporado en otras simulaciones que requieren calcular esta dinámica. Aarseth fue un precursor en el ámbito, por ser uno de los primeros en dejar a disposición de la comunidad el código abierto del programa. Esto facilitó su difusión y extendió su presencia en otros estu-

2 El problema de los *N-cuerpos* es un modelo matemático propuesto por Newton para modelar el comportamiento de nuestro sistema solar y se conforma de ecuaciones diferenciales ordinarias no lineales que son fácilmente expresables pero que resultan complejas en resolver. Este problema sigue siendo un tema importante de investigación en astronomía.

dios. Heng (2014) ofrece otro ejemplo más de Stone (Stone et al. 1992) y de Teyssier³ (Teyssier y Commerçon, 2019) para resolver las ecuaciones de fluidos magnetizados que fueron incorporados en una gran cantidad de estudios dedicados a problemas varios en astrofísica. La disponibilidad de esos códigos al público y a los investigadores les dio relevancia porque fueron incorporados en los repertorios y programas de otros investigadores. Estos códigos no solamente se consolidaron por haber sido extensamente empleados, sino que también fueron mejorando gracias a la participación, modificaciones y mejoras de una amplia comunidad. Esta práctica trae muchas ventajas ya que permite no solo mejorar la calidad y controlar el código, sino que incrementa su implementación en distintas simulaciones dándole una mayor confiabilidad. La confianza otorgada a dichos códigos es tal que, desde el sentido común filosófico, podrían considerárseles como auténticos generadores de conocimientos, ya que permiten modelar con un cierto grado de precisión, un ámbito de fenómenos específicos. Esta creencia epistémica se consolida con las dificultades que surgen al intentar reproducir la simulación, tanto porque el código en muchas ocasiones no es divulgado al público o porque resulta demasiado complejo como para poder reproducirlo correctamente sin necesitar años de investigaciones. Al no poder ser controlado por pares uno depende entonces de la reputación de los modelos, métodos y de los investigadores que participaron en el estudio.

Los problemas se hacen más evidentes cuándo la simulación resulta tan compleja, o si depende de muchos parámetros libres⁴, si es vista como una caja negra o que no puede ser “rota” o falseada. Esto es, que ya no sabemos cómo falsearla o si ofrecerán siempre los datos que deseamos obtener. Oberkampf y Roy (2010, pp. 481-483) sin embargo, son un poco más cautos al respecto, ya que falseando los datos no nos da suficientes indicios acerca de si la simulación es o no válida. Si la simulación

3 Heng no da referencias a algún trabajo en particular. Lo más probable es que se refiere al trabajo de Stone de 1992. En relación a Teyssier, nos pareció que el trabajo escrito con Commerçon muestra un buen recuento de la evolución del código para simulaciones en el ámbito de formación estelar y de dinámica de los fluidos.

4 Son parámetros que deben ser expresados mediante aproximaciones por falta de conocimiento, de capacidad computacional o de información para poder modelar ciertos fenómenos.

tiene algunos prerequisites en relación a un tipo de precisión (*accuracy*) podemos siempre falsearla agregando los datos suficientes para hacerlo. Aunque Oberkampf y Roy se refieren en particular al testeo de hipótesis estadística, en realidad se lo puede ampliar a tipos de errores en lógica y existen dos: 1) riesgo del constructor del modelo y 2) riesgo del usuario del modelo. El riesgo del constructor es el error de rechazar la validez del modelo cuando este es efectivamente válido y puede ser causado tanto desde una perspectiva computacional⁵ que experimental⁶. Mientras que el riesgo del usuario es aceptar la validez del modelo cuando en concreto es inválido. El riesgo del usuario es el más peligroso de los dos tipos, ya que si tenemos un error numérico producido por no haber sido suficientemente preciso en la colocación de una “malla” (*mesh*) los resultados computacionales concordarían con los experimentales que conduciría a una comparación es engañosa. Esto es, crea una compensación o cancela errores en la comparación. Para Oberkampf y Roy estas compensaciones son muy comunes y si existen suficiente evidencia experimental para validar el modelo entonces hay poco interés en cuestionar su validez.

A pesar de estos riesgos y problemas existe, según Heng (2014), una tendencia en tener siempre simulaciones “más grandes, mejores y más rápidas”. Springel (Springel et al., 2005) y su proyecto de simulación del milenio (*The Milenium Simulation Project*) o *Illustris* (Pillepich et al., 2018) resulta ser un gran ejemplo de este tipo de tendencia. Es obviamente no el único, los proyectos *EAGLE*, *BlueTides* y *MassiveBlack II* son algunos otros de este tipo. Algunos de estos proyectos fracasaron de manera estrepitosa mientras que otros son usados como laboratorio experimental. Uno de los fracasos más notables fue notificado a partir de un experimento llamado “experimento Aquila” conducido en 2012 por Scannapieco (Scannapieco et al., 2012) en el que se pidió a varios investigadores simular una galaxia a partir del código que cada uno desarrolló. El resultado fue que todos los resultados no solo

5 Una grilla o malla (*mesh*) puede no tener una convergencia adecuada y crea un error numérico, lo que obliga al modelador a modificar su modelo, aunque es correcto.

6 Es un problema importante ya que se suele considerar que los datos experimentales son correctos y que la falla proviene de la parte computacional. Esto puede conducir en los peores de los casos a recalibrar el modelo matemático, pero en realidad son los datos equivocados. Esto conlleva a que todas las computaciones futuras serán afectadas por estos datos equivocados.

eran distintos, sino que no se adecuaban con las expectativas teóricas o las restricciones observacionales. Este experimento fue lapidario en relación a las expectativas esperadas en tener a disposición simulaciones adecuadas para la tarea científica. A pesar de esos traspiés, en la actualidad se ha mejorado mucho el rendimiento de ese tipo de simulaciones gracias a un mejor entendimiento de las supernovas y los agujeros negros. Lo que todavía no se puede es determinar si se trata de algún riesgo de usuario (como los mencionados por Oberkampf y Roy), o bien, si hay algún tipo de exceso en el uso de los parámetros libres. En ambos casos, ello nos conducirá a una eventual situación capciosa. Hay que precisar, sin embargo, que la estrategia más común hoy en día en simulación computacional en astronomía es hacer uso de modelos bien específicos que se relacionan jerárquicamente uno con otro. Esta estrategia muy usada en climatología (Heng, 2014) permite que varios modelos con grados de complejidad distintos pueden dar lugar a una comprensión de los fenómenos en etapas y así aislar ciertos efectos físicos. Afortunadamente algunos fenómenos, nos dice Heng, como la cuantificación de la absorción de la luz por un átomo de sodio ya no requiere configurar algún parámetro libre. De esta manera, se eliminan ciertos riesgos de entrada de datos falsos, no obstante se puede lograr un código que expresa adecuadamente a dicho fenómeno. La gran pregunta es: ¿este código es conocimiento? No es una respuesta fácil de obtener. Claramente podemos decir que en el caso de tener un modelo que reproduce el fenómeno de cómo la cuantificación de la absorción de la luz ocurre en un átomo de sodio, el código usado puede representar conocimiento. Pero si aceptamos esta premisa debemos estar atento a que no todo código es conocimiento y que en ciertos casos puede traer problemas. Para ejemplificarlo analizaremos rápidamente dos casos.

Casos

El primer caso que abordamos es un ejemplo interesante y actual de un objeto no solamente atípico, sino que crea muchas discusiones para clasificarlo en varios de los modelos actuales. *Oumuamua* es un objeto del medio interestelar con una forma atípica en forma de “cigarro” o disco (Meech et al., 2017), con una velocidad y desviación de una órbita de Kepler complicada de determinar (Micheli et al., 2018; Zhang y Lin 2020), posee una emisión térmica baja (Trilling et al., 2018) y ausencia de una

cola de cometa (Meech et al., 2017; Knight et al., 2017). Por estas razones se ha clasificado a dicho objeto como un asteroide (Meech et al., 2017), un cometa (Seligman et al., 2019), un inusual planeta menor (Zwart et al., 2019) o hasta una nave alienígena (Loeb y Bialy, 2018). En cada uno de los tratamientos realizados se ha intentado clasificarlo según los datos primero observables y luego simulados. Dentro de lo observable pudo notarse que dicho objeto posee un color rojizo, el cual concuerda con lo observado en cometas y asteroides ricos en componentes orgánicos, con una forma muy alargada en comparación a su ancho. El equipo que descubrió el objeto (Meech et al., 2017) pudo determinar por otro lado que su trayectoria tenía una excentricidad hiperbólica de 1.1956 ± 0.0006 confirmando que no era parte del sistema solar. Es el primer objeto registrado que proviene del medio interestelar. Su observación permitió una nueva norma para clasificar los objetos estelares de esta clase: “1I”⁷ o “1I/2017U1”. Este formato usa el sistema otorgado a los cometas. Tal decisión fue, aparentemente tomada porque se supone que los objetos interestelares sean más de tipo cometas que asteroides. Sin embargo, la ausencia de una cola de cometa y su forma irregular, así como su color ha fortalecido la tesis de que sea un asteroide, algunos hasta propusieron que la cantidad de asteroides de ese tipo son mayores que las cometas (Portegies Zwart et al., 2019). Lo más extraño no resultó solamente su forma, sino que además se pudo observar una aceleración no gravitacional del objeto y una desviación de una órbita de Kepler (ver fig. 1) no esperable. La aceleración no gravitacional fue interpretada por Loeb y Bialy (2018), Loeb (2021) como un signo de que se tratara de un objeto artificial. Sin embargo, esta idea fue rebatida por (Katz, 2021) por ser improbable y altamente especulativa (en particular por ser altamente ineficiente). Recientemente, Zhang y Lin (2020) propusieron que *Oumuamua* no era un asteroide sino un cometa y que su aceleración puede explicarse a través de un proceso de “fragmentación de marea” (*Tidal fragmentation*). Esta tesis sostiene que el objeto dispone en su seno de agua o hielo que al acercarse al sol se liberan gases que produjeron tanto la aceleración como la desviación. Esta tesis se apoya en una simulación computacional basada en el código *PKDGRAV N-cuerpos*. Dicho código usado para la simulación fue aparentemente verificado previamente a partir de su validación adjudicada por su presencia en artículos previos y cuyo código puede ser

7 Ver <https://minorplanetcenter.net//mpec/K17/K17V17.html>

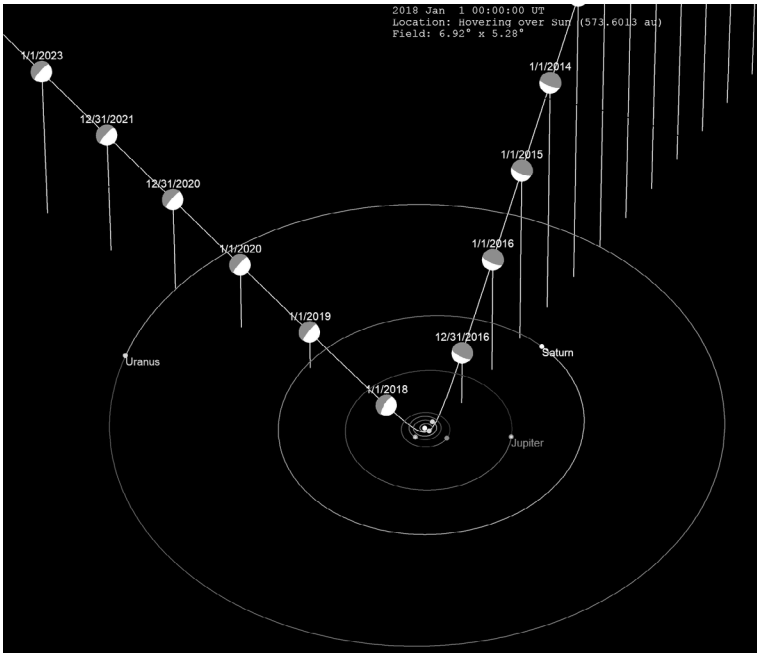


Figura 1. Desviación de órbita de Kepler de *Oumuamua*.

Wang (2018)

Podemos notar que el desarrollo de la observación y de la explicación del objeto se fue trasladando al ámbito de la simulación computacional en el que para justificar el comportamiento de *Oumuamua* se apela a propiedades exóticas como la fragmentación de marea. No podemos decir si la propuesta de Zhang y Lin es correcta o no y si su plausibilidad sigue en discusión con otras propuestas que afirman de que no se trata de un cometa (Wilhelm y Dwivedi, 2020). Podemos en cambio afirmar que la validación de su tesis se encuentra frente a ciertas dificultades dado que no podemos tener fácilmente acceso al código usado por la simulación y de la que depende gran parte su trabajo. El código resulta relevante no solo por una cuestión de verificación del experimento o de cuales fueron los parámetros libres usados. En ciertas ocasiones aparecen informaciones cruciales para el experimento como por ejemplo citas enteras (Roundtree, 2010) de las líneas de códigos usadas en otras simulaciones.

Este re-uso del código, que hemos visto con Heng (2014), conforman un conocimiento que se encuentra validado pragmáticamente por una parte de la comunidad. Al considerar el código como auténticos generadores de conocimientos, también significa que las mejoras o modificaciones del código constituyen un *corpus* del conocimiento acumulado y generado por el investigador y una investigación particular. Para decirlo en otras palabras, el código es visto como la investigación de un científico que se va incrementando o mejorando con el paso del tiempo y por ende son relevantes para una reflexión desde las prácticas científicas. Una de las razones de este comportamiento son las presiones académicas en la que algunos investigadores se ven confrontados, tanto por las presiones para publicar o para obtener títulos académicos de postgrado entre otros. Por otro lado, la retórica usada en la conformación del código (Roundtree, 2010) es importante para la programación de la simulación ya que puede afectar la lectura e interpretación de los resultados y los descubrimientos obtenidos a partir de las simulaciones. Reutilizar código que ha sido validado por la comunidad o usar directamente código como *Gadget 3*⁸ (Springel, 2005 y Springel et al, 2005) ofrece ventajas en la validación del código, pero no necesariamente ofrece seguridad al respecto, más si nos encontramos frente a un objeto atípico que desestabiliza al modelo.

Una de las grandes cuestiones que surge en este caso es ¿cómo podemos confiar en una simulación basada en modelos pre-existentes para explicar un objeto atípico que rompe con las expectativas? Una de las consecuencias es que nos encontramos a merced del riesgo del usuario en el que asumimos que los modelos usados para la simulación son los válidos para poder tratar dicho objeto. Esto no necesariamente significa que los modelos estén incorrectos, sino que son equivocados para analizar al objeto. Es peligroso para la hipótesis sostenida en la simulación intentar hacer compensaciones en el modelo para alcanzar los resultados esperados. Pero, por otro lado, es sano para el ámbito con el fin de consolidar los modelos en caso de que permiten ofrecer una buena explicación. Zhang y Lin se encuentran en ese límite en el que algunos modelos pueden ser afianzados por su éxito en explicar lo novedoso o tener que replantearse. Todavía no podemos afirmar cuál de la dirección tomaría este proceso para ese caso.

⁸ *Gadget 3* es un código muy usado en astronomía de acceso abierto y colaborativo lo que permite una gran ventaja a la hora de validar simulaciones.

El segundo caso se basa en los estudios realizados por Namouni y Morais (2018, 2020) sobre el origen interestelar de algunos objetos que circulan en una órbita retrógrada con Júpiter y de objetos orbitando entre Júpiter, Saturno y los Centauros. Desde la aparición de *Oumuamua* y luego de otro objeto interestelar denominado *2I/Borisov*, se ha iniciado una búsqueda intensiva de otros de estos objetos interestelares. Tan intensiva que tenemos claros abusos del uso de simulaciones computacionales para tratar de validar erróneamente ciertas hipótesis. Entre los objetos observados por Namouni y Morais tenemos entre otros a los objetos (514107) 2015 BZ509, 2008 KV42 y (471325) 2011 KT19 que según los autores son de origen interestelar. Para llegar a esta conclusión, procedieron a simular los objetos observados alrededor de un millón de veces con elementos orbitales que reproducen la incerteza de los objetos observados de forma tradicional. Todos esos clones fueron regresados en el tiempo hasta 4.5 Ga⁹ que es la edad estimada de la formación del sistema solar en la que descubrieron que la gran mayoría de estos clones no sobrevivieron. Solamente un clon de (514107) 2015 BZ509 logró preservar sus características orbitales iniciales durante esos 4.5 Ga simulados y del 15% de los clones de 2008 KV42 y (471325) 2011 KT19. Para Namouni y Morais este resultado muestra que los objetos observados telescópicamente deben haber seguido las trayectorias que les permitieron “sobrevivir” aunque hubieran sido la excepción en todos los posibles resultados dinámicos simulados. Estos objetos simulados que sobrevivieron se encuentran en su estado inicial hace 4.5Ga en una órbita altamente inclinada respecto de los planetas (en el que las inclinaciones de los planetas deberían ser chicas) y por ende deben tener un origen interestelar fuera de nuestro sistema solar. Morbidelli et al. (2020) al analizar lo planteado por Namouni y Morais encuentran tres grandes fallas en su propuesta; 1) Que la simulación no es un demonio de Laplace. No podemos saber la historia pasada de un sistema integrando su evolución hacia atrás con la suficiente precisión para alcanzar la proyección. La mecánica celeste es en general no-integrable y la mayoría de sus condiciones iniciales conducen a un caos dinámico. Sin embargo, dicen Morbidelli et al, que se puede hacer uso de herramientas de mecánica estadística para describir un flujo de partículas en trayectorias caóticas, pero estas no reproducen la evolución “real” del sistema. Esto se debe a que la

9 1 Gigaño equivale a mil millones de años.

entropía del sistema disminuiría en relación a la segunda ley de la termodinámica. 2) No podemos presumir que el sistema solar que observamos hoy se comportaba de la misma manera hace 4.5 Ga lo cual es absurdo. Y por último 3) Namouni y Morais negligian de forma a priori la posibilidad de que esos objetos inestables son efectivamente representantes de objetos que estaban transitando y se mantienen en un estado estacionario por un determinado periodo lo cual es el escenario más probable.

Este segundo caso muestra claramente una consecuencia del abuso de una simulación con el fin de encontrar objetos interestelares. En este caso no tenemos necesidad de analizar el código de la simulación para poder estimar la validez de la simulación. La metodología usada, la negligencia de los investigadores en aplicar modelos ya existentes y la mala aplicación de ciertos principios matemáticos clásicos para la modelización son suficientes para no acordar con los resultados e interpretaciones obtenidos por Namouni y Morais. En este caso existe un abuso interpretativo sobre los resultados del modelo, pero por otro lado las variables libres han sido completamente compensadas para adecuarse con un resultado deseado. En relación al código mismo este no tiene relevancia para generar algún tipo de conocimiento ya que no respecta ni siquiera un principio básico como la dinámica evolutiva del sistema solar que no puede ser codificada tan fácilmente. El código si bien puede ser considerado como un tipo de conocimiento posee limitaciones claras respecto de su alcance y aplicación para modelar algunos fenómenos.

Consideraciones finales

Desde Aarseth la forma de considerar las simulaciones computacionales como generadores de conocimiento ha dado lugar a nuevas formas de pensar el rol que posee un código. El código que pertenece a una simulación es cada vez más considerado como un cuerpo de conocimiento que pertenece a un individuo o comunidad. Algunas ventajas de este cambio es que permiten fortalecer el intercambio de datos, observaciones entre distintos grupos con mayor facilidad y así validar hipótesis planteadas por la comunidad. También, permiten recolectar datos o simular observaciones que no podrían ser realizadas mediante observaciones convencionales y en algunos casos crear un marco predictivo que antecede la observación de algunos objetos con el fin de encontrarlos en un determinado lugar. Sin

embargo, el uso extensivo y poco cuidadoso de ciertas simulaciones computacionales han dado lugar a considerar que el algoritmo o código usado no sólo es fuente de conocimiento, sino que provee los datos necesarios para validar, en algunos casos, hipótesis que contradicen las observaciones convencionales.

Bibliografía

- Aarseth, S. J. (1985). Direct methods for N-body simulations. En Brackbill, J. U. y Cohen, B. I. (Eds) *Multiple Time Scales*. Academic Press, 377-418. ISBN 9780121234201.
- Heng, K. (2014). The Nature of Scientific Proof in the Age of Simulations. *American Scientist*, 102(3), 174–177.
- Hoyle, F., y Schwarzschild, M., (1955). On the Evolution of Type II Stars. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 2, 1. doi:10.1086/190015.
- Katz, J. I. (2021). Oumuamua is not Artificial. Recuperado el 28/05/2021 de <https://arxiv.org/pdf/2102.07871.pdf>
- Knight, M. M., et al. (2017). On the Rotation Period and Shape of the Hyperbolic Asteroid 1I/'Oumuamua (2017 U1) from Its Light-curve. *ApJL*, 851, L31. Recuperado el 28/05/2020 de <https://iopscience.iop.org/article/10.3847/2041-8213/aa9d81>
- Loeb, A., y Bialy, S. (2018). Could Solar Radiation Pressure Explain 'Oumuamua's Peculiar Acceleration? *ApJL*, 868, L1. <https://doi.org/10.3847/2041-8213/aaeda8>
- Meech, K. J., et al. (2017). A brief visit from a red and extremely elongated interstellar asteroid. *Nature*. <http://dx.doi.org/10.1038/nature25020>.

- Micheli, M. Farnocchia, D., et al. (2018). Non-gravitational acceleration in the trajectory of 1I/2017 U1 ('Oumuamua). *Nature*, 559, 223–226. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0254-4>
- Morbidelli, A., et al. (2020). No evidence for interstellar planetesimals trapped in the Solar system. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 497(1), 46–49. <https://doi.org/10.1093/mnrasl/slaa111>
- Namouni, F., y Morais, M. H. M. (2018). An interstellar origin for Jupiter's retrograde co-orbital asteroid. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*. 477(1), 117–121. <https://doi.org/10.1093/mnrasl/sly057>
- Namouni, F., y Morais, M. H. M. (2020). An interstellar origin for high-inclination Centaurs. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 494(2), 2191–2199, <https://doi.org/10.1093/mnras/staa712>
- Oberkamp, W., y Roy, C. (2010). *Verification and Validation in Scientific Computing*. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511760396
- Pillepich, A., Springel, V., Nelson, D., Genel, S., Naiman, J., Pakmor, R., Hernquist, L., Torrey, P., Vogelsberger, M., Weinberger, R., & Marinacci, F. (2018). Simulating Galaxy Formation with the IllustrisTNG Model. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 473(3), 4077–4106. <https://doi.org/10.1093/mnras/stx2656>
- Roundtree, A. K. (2010). The rhetoric of computer simulations in astrophysics: a case study. *JCOM*, 9(3).
- Scannapieco, C., et al. (2012). The Aquila comparison project: the effects of feedback and numerical methods on simulations of galaxy formation. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 423(2), 1726–1749. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2012.20993.x>

- Seligman, D., Laughlin, G., y Batygin, K. (2019). On the Anomalous Acceleration of 1I/2017 U1 'Oumuamua.arXiv e-prints. Recuperado el 28/05/2021 de <https://arxiv.org/abs/1903.04723>.
- Simon, H. A., y Newell, A. (1971). Human problem solving: The state of the theory in 1970. *American Psychologist*, 26, 145–159.
- Springel, V., White, S. D. M., Jenkins, A., Frenk, C. S., Yoshida, N., Gao, L., Navarro, J., Thacker, R., Croton, D., Helly, J., Peacock, J. A., Cole, S., Thomas, P., Couchman, H., Evrard, A., Colberg, J., & Pearce, F. (2005). Simulating the joint evolution of quasars, galaxies and their large-scale distribution. *Nature*, 435(7042), 629–636. <https://doi.org/10.1038/nature03597>
- Springel, V. (2005). The cosmological simulation code gadget-2. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 364(4), 1105–1134. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2005.09655.x>
- Stone J. M., Mihalas D., Norman M. L. (1992). ZEUS-2D: A radiation magnetohydrodynamics code for astrophysicalflows in two space dimensions. III - The radiation hydrodynamic algorithms and tests. *Astrophysical Journal Supplement Series*, 80, 819–845. ISSN 0067-0049.
- Teyssier, R., Commerçon, B. (2019). Numerical Methods for Simulating Star Formation. *Frontiers in Astronomy and Space Sciences*, 6. DOI=10.3389/fspas.2019.00051
- Trilling, D. E., et al. (2018), Spitzer Observations of Interstellar Object 1I/Oumuamua. *The Astronomical Journal*, 156(6), 261.
- Von Neumann, J., y Goldstine, H. H. (1947). Numerical inverting of matrices of high order. *Bulletin of the American Mathematical Society*, 53(11), 1021–1099.
- Wang, B. (noviembre, 2018). Many anomalies of interstellar Oumuamua are explained if it was an alien solar sail. Recuperado el

28/05/2021 de <https://www.nextbigfuture.com/2018/11/many-anomalies-of-interstellar-oumuamua-are-explained-if-it-was-an-alien-solar-sail.html>

- Wilhelm, K., y Dwivedi, B. (2020). Anomalous Sun Flyby of 1I/2017 U1 ('Oumuamua). *Galaxies*, 8(4), 83. MDPI AG. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.3390/galaxies8040083>
- Zhang, Y. y Lin, D. N. C. (2020). Tidal fragmentation as the origin of 1I/2017 U1 ('Oumuamua). *Nat Astron*, 4, 852–860. <https://doi.org/10.1038/s41550-020-1065-8>
- Portegies Zwart, S., Torres, S., Pelupessy, I., Bédorf, J., y Cai, M. X. (2018). The origin of interstellar asteroidal objects like 1I/2017 U1 'Oumuamua. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 479(1), 17–22. doi:10.1093/mnras/sly088.



Del universo de datos a los datos del universo.

Notas epistemológicas sobre el uso de inteligencia artificial en astronomía

Andrés A. Ilcic*

Resumen

El objetivo de este trabajo es presentar una lectura epistemológica de las prácticas que hacen uso de herramientas de inteligencia artificial en distintas ramas de la astronomía. La primera parte es una breve introducción a una posible historia de la astronomía como una ciencia basada en datos, señalando al concepto de dato —y al de metadato asociado— como un pilar fundamental sobre el que se puede apoyar una noción de garantía epistémica. Esto hace que sea central estudiar el rol que tanto modelos como técnicas tienen en la generación, el procesamiento y la interpretación de los datos. Se defiende que en lugar de la automatización del descubrimiento, lo que las técnicas contemporáneas permiten es un cambio cuantitativo significativo en la cantidad de dimensiones que se pueden considerar en un espacio de parámetros sobre el cual se podrán explorar las similitudes con datos provenientes de otras fuentes.

Palabras clave: *grandes datos, inteligencia artificial, aprendizaje automático, epistemología, robustez.*

Abstract

The aim of this paper is to present an epistemological overview of the practices that make use of artificial intelligence tools in different branches of astronomy. The first part is a brief introduction to a possible history of astronomy as a data-driven science, pointing to the concept of data—and its associated metadata—as the touchstone on which a notion of epistemic warrant can be based. This makes it central to study the role that both

* Centro de Investigaciones de la Facultad de Filosofía y Humanidades (UNC) – (CONICET).

models and techniques play in the generation, processing and interpretation of data. It is argued that rather than automation of discovery, what contemporary techniques allow is a significant quantitative change in the number of dimensions that can be considered at once in a parameter space over which similarities with data from other sources can be explored.

Keywords: *big data, artificial intelligence, machine learning, epistemology, robustness.*

Introducción

Dado el rol central que tiene la noción de “dato” en la astronomía, ligado al de observación, creo que bien puede tomarse como una disciplina paradigmática para llevar a cabo un análisis de la forma en la que dicho concepto se ha ido complejizando y ganando matices con el paso del tiempo, tanto en sus aspectos teórico-instrumentales y, como consecuencia de esta evolución, los epistemológicos. A su vez, “dato” es un término que también resuena en torno a la inteligencia artificial, especialmente dada la reciente disminución de los costos asociados a su almacenamiento y procesamiento; factores que contribuyeron al éxito de las arquitecturas de redes neuronales artificiales como técnica de exploración y manipulación de conjuntos enormes de datos (dando lugar a la era de los “*big data*”). De las múltiples dimensiones desde las que se pueden explorar las facetas epistemológicas que se observan cuando se presta atención al impacto que estas herramientas tecnológicas tienen en la práctica científica, en este trabajo me propongo examinar brevemente la manera en la que las afirmaciones acerca de la naturaleza de los fenómenos bajo estudio en la astronomía históricamente han dependido de avances técnicos (dentro de los que incluyo a las técnicas matemáticas) como soporte crucial de dichas afirmaciones. El énfasis de la reconstrucción que ofrezco aquí está en señalar los cambios cualitativos en las clases de afirmaciones y sus justificaciones que se pueden llevar a cabo acerca de la naturaleza a partir de las nuevas técnicas de manipulación de datos habilitadas por los avances en aquellas subdisciplinas englobadas en la actualidad bajo el rótulo de inteligencia artificial.

1. Grandes datos antes de los *big data*

El constante crecimiento (cuasi-exponencial) de la capacidad de cómputo que la humanidad ha experimentado especialmente desde la creación de los microprocesadores ha llevado, en conjunción con una substancial disminución de los costos de almacenamiento, a una superabundancia de datos. Esto se debe a que es cada vez más sencillo añadir sensores a dispositivos electrónicos que permiten generar un registro de su entorno o de sus condiciones de uso por parte de los agentes que interactúan con ellos. En diferentes contextos, este fenómeno reciente se dio a llamar “la era de los grandes datos” (los *big data*, en inglés), con constantes referencias a un “diluvio de datos”, especialmente en sectores de negocios y servicios de *software*. Esta “explosión” de datos en distintos ámbitos es heredera directa de las tecnologías de producción y procesamiento de datos en contextos científicos, aunque bien es necesario destacar que la investigación directa en estas técnicas también se ha visto impulsadas en los últimos años por las oportunidades comerciales que las industrias tecnológicas han logrado captar al nivel de los consumidores. Las ciencias computacionales, entre las que destacaría a la astronomía por el rol crucial que tiene en ella el concepto mismo de dato, se han visto beneficiadas profundamente por la retroalimentación entre los avances tecnológicos y la experticia entre los distintos sectores involucrados en la exploración de las fronteras computacionales e ingenieriles.

Es precisamente en esta *frontera* entre los algoritmos, los datos y la infraestructura computacional que emerge la llamada “ciencia de datos”; que antes bien creo que más bien puede caracterizarse como una disciplina que hace a una “zona de intercambio” de especialidades bajo el aspecto de conjunto de técnicas de resolución de problemas generales. Parte de esta generalidad o “universalidad” proviene del hecho de que en muchos casos las técnicas de procesamiento de datos pueden ser aplicadas a una gran parte del flujo de trabajo de manera “agnóstica”, en tanto suelen no depender de la semántica de dichos datos. Ahora bien, esto no nos deja frente a una “ciencia” agnóstica ni automática, como ha sido sugerida en algunas ocasiones (Napoletani et al., 2011). El rol de los expertos de dominio es más importante que nunca; debiendo involucrarse en las distintas etapas del “ciclo de vida” de los datos, especialmente en el desarrollo de técnicas de visualización científica que faciliten la exploración “final” de los datos

preseleccionados como significativos por el análisis exploratorio; solo así puede lograrse que dichos resultados sean interpretados e incorporados a los ciclos teóricos y experimentales. Uso el término “ciclo” para cubrir al menos parcialmente lo que en algunos contextos, habitualmente ligados a la computación científica y de alto desempeño, se conoce como “paradigma” (Hey et al., 2009), dado que la semántica habitual del término en filosofía de la ciencia sugiere una interpretación kuhneana en la que los paradigmas, vistos como “etapas epistémicas”, sugieren una confrontación radical hasta en los referentes fenoménicos. Al contrario, creo que la interpretación filosófica de la creación de nuevos ciclos o escenarios con metodologías propias de trabajo que, en lugar de reemplazar las formas anteriores de llevar a cabo las tareas científicas, habilita nuevas fronteras de exploración y obliga a complejizar la manera en la que se entiende la naturaleza y la justificación de los alcances de las afirmaciones de conocimiento acerca de los fenómenos, tanto naturales como artificiales.

Si bien en la literatura científica se suelen encontrar interpretaciones del giro tecnológico o que apuestan por un cambio radical en la manera de hacer ciencia, al estilo de “La investigación astronómica está pasando de estar basada en hipótesis a estarlo en datos [*data-driven*] y de manera intensiva [*data-intensive*] (Zhang y Zhao, 2015), es importante tomar con cuidado dichas afirmaciones. Un acercamiento epistemológico a las prácticas sugiere una mirada más cauta:

El intento de establecer una distinción tajante entre la ciencia basada en hipótesis y la ciencia intensiva en datos es inadecuado; estos modos de investigación no son, de hecho, ortogonales y a menudo se entremezclan en la práctica científica concreta. (Elliott et al., 2016, p. 881)

Ahora bien, sí es claro que la manera de entender qué es lo que constituye conocimiento científico se ve ampliamente afectado y complejizado a medida que el soporte tecnocientífico de las disciplinas se vuelve cada vez más extenso, profundo y ubicuo. Además, se trata de una transformación que no solo afecta a las llamadas ciencias naturales: las ciencias sociales pueden verse beneficiadas y afectadas de modos muy singulares en términos de los métodos que la abundancia de datos y las mejoras para su procesamiento pueden traer. Basta solo recordar cómo los orígenes técnicos del procesamiento de datos estuvieron ligados a hacer posible en tiempo y forma el relevamiento poblacional del censo de los Estados

Unidos de 1890: la máquina tabuladora de Herman Hollerith. Además de proveer la manera en la que se interactuaría con las computadoras durante varias décadas por venir, las tarjetas perforadas de Hollerith (basadas en las tempranas implementaciones de Jacquard y Babbage acerca de cómo configurar valores de entrada para una máquina) permitían representar (o *reducir*) un individuo a una matriz de características cuyo soporte tecnológico era el medio para realizar inferencias generales acerca de la población. Siguiendo una línea parcialmente sugerida por, entre otros, Paul Humphreys (1995, 2004) con respecto al rol de la tecnología en el análisis epistemológico de una ciencia que recurre a ella, toda clase de soporte tecnocientífico que vuelva factibles *en la práctica* algunas inferencias que antes no eran tratables debe verse como capaz de transformar tanto una ciencia al punto de incluso cambiar los criterios sobre los que se establecen las credenciales epistémicas. Si bien hay numerosas formas de aproximarse y construir una epistemología de las simulaciones computacionales en ciencia (Durán, 2018; Morrison, 2015; Weisberg, 2013; Winsberg, 2010), creo que los avances en las distintas disciplinas requieren de una exploración pormenorizada de la manera en la que en cada comunidad se construye y juzga al conocimiento, en un sentido similar al propuesto por Ian Hacking (1992) originalmente como “autojustificación” para las ciencias de laboratorio. En esta dirección, los análisis deben concentrarse en las metodologías de investigación y aplicación en cada dominio y casos particulares (García, 2015; Oberkamp y Roy, 2010).

1.1. Ciberinfraestructura

Un aspecto crucial para comprender las metodologías de trabajo, por tanto, es incorporar en los análisis lo que podríamos llamar los aspectos de la materialidad, en un sentido más próximo a lo que en estudios sociales y filosóficos de la técnica se conoce como “cultura material” (Preston, 2013). Sin duda, esto es algo que va de la mano del giro que puso de manifiesto la importancia de las prácticas experimentales (Hacking, 1983; Radder, 1988/2012) y simulacionales (Galison, 1996) para una adecuada conceptualización filosófica de las prácticas científicas.

En particular, la preocupación por la infraestructura tecnológica debe incorporar los avances en materia de las interfaces que se generan entre los distintos grupos de usuarios y los usuarios con cada uno de los “pro-

ductos de datos”, como suelen llamarse a las colecciones curadas publicadas por un grupo de investigación asociado a un experimento o proyecto para que pueda ser empleado por la comunidad científica general.

Ya a principios de este milenio, un reporte para la *National Science Foundation* (NSF) remarcaba la importancia de pensar políticas de ciberinfraestructura científica a largo plazo y de profundo impacto en las comunidades, no limitada a la mera creación de centros de computación de alto desempeño:

La visión que está surgiendo es la de utilizar las ciberinfraestructuras para construir entornos digitales más ubicuos y exhaustivos que se conviertan en interactivos y funcionalmente completos para las comunidades de investigación en términos de personas, datos, información, herramientas e instrumentos y que operen a niveles sin precedentes de capacidad de cálculo, almacenamiento y transferencia de datos. Cada vez más, los nuevos tipos de organizaciones científicas y entornos de apoyo a la ciencia son esenciales, no opcionales, para las aspiraciones de las comunidades de investigación y para ampliar la participación en esas comunidades. Pueden servir a individuos, equipos y organizaciones de manera que revolucionen lo que pueden hacer, cómo lo hacen y quiénes participan. Esta visión también tiene profundas implicaciones más amplias para la educación, el comercio y el bien social. (Atkins et al., 2003, p. 2)

Habitualmente un criterio historiográfico que puede tomarse para remarcar un punto de transición entre una “preocupación” en una comunidad científica por una actitud que lleva a la consolidación de un campo de investigación particular (atendiendo a que lo que para un dominio de investigación puede ser una mera técnica o un recurso tecnológico bien puede, y suele, ser el objeto de estudio propio de otra comunidad) es el surgimiento de conferencias dedicadas al encuentro de especialistas del tema. Puede decirse que es en la década de 1980 cuando estos intereses se condensan en cambios en las metodologías de trabajo, pudiéndose observar un giro hacia la interdisciplinariedad, especialmente a través de la catálisis ofrecida por la *Conferencia de Gestión de Bases de Datos Científicos y Estadísticos* (la *Scientific and Statistical Database Management Conference* o SSDBM), que tiene lugar desde 1981, incluyendo a especialistas de áreas de la informática y de la matemática, como también de las disciplinas que las encuentran como aplicaciones. El campo de la visualización científica propiamente así llamado puede decirse que surge en 1987, con

un *workshop* dedicado al tema (McCormick et al., 1987) en la conferencia SIGGRAPH (*Special Interest Group on Computer Graphics and Interactive Techniques*), cuya inauguración se remonta a 1974. Cabe destacar que las conferencias de esta clase cada vez más han tenido un peculiar rol como espacios de creación de comunidades, especialmente entre la academia y la industria, algo que también debe ser atendido por filósofos, historiadores y sociólogos de la ciencia y la tecnología. La visualización científica es hoy en día un aspecto crucial para el avance de las disciplinas que trabajan con grandes volúmenes de datos (Ilcic y Reynoso, 2015), como lo es también la creación de interfaces por medio de las cuales los investigadores puedan llevar a cabo una obtención rápida y posterior integración de datos de diferentes fuentes.

En varios sentidos, se puede afirmar que la astronomía fue pionera en reconocer la importancia de fijar criterios de estándares tecnológicos para habilitar la colaboración científica de distintas comunidades; quizás uno de los casos más importantes en esta dirección de estándares de infraestructura sea la propuesta original para la creación de los observatorios virtuales (OV) (Szalay y Gray, 2001). Parte del éxito científico de los OV se debe a la manera en la que permitieron la reconfiguración de las comunidades de investigación, pudiendo cada vez más integrar grupos de trabajo de otras disciplinas y de distintas regiones del planeta:

El OV es un entorno de investigación emergente, abierto, basado en la web y distribuido para la astronomía con conjuntos de datos masivos y complejos. Reúne archivos y servicios de datos, así como herramientas de exploración y análisis de datos. Se trata de un entorno tecnológico, pero impulsado por la ciencia, que ofrece excelentes oportunidades de colaboración entre astrónomos y profesionales de la informática y la estadística. También es un ejemplo de un nuevo tipo de organización científica, intrínsecamente distribuida, intrínsecamente multidisciplinar, con un espectro inusualmente amplio de colaboradores y usuarios. (Djorgovski y Williams, 2005, p. 2)

De menor escala, pero no por eso menos importante, otro claro ejemplo es el formato de imágenes FITS, en el que se puede apreciar la importancia de los metadatos que describen las condiciones de observación. De hecho, si bien puede usarse para imágenes, el formato es tan flexible que es mejor describirlo como una base de datos que incorpora en su definición una *interfaz de uso* pensada para soportar los desafíos de la clase de

investigación en la cual las afirmaciones de conocimiento de un objeto o evento astronómico dependen de la reconstrucción posterior de una gran serie de observaciones fragmentadas en múltiples dominios. Algo semejante puede decirse acerca del *bicode* o *refcode*, estándar que emergió tras la necesidad de crear identificadores únicos a las referencias bibliográficas en astronomía e incorporado a los distintos sistemas de datos, en particular al Astrophysics Data System (ADS).

2. Grandes datos, astroinformática e inteligencia artificial

Los observatorios dedicados a realizar censos del cielo (*sky surveys*, en inglés) son uno de los más claros indicadores del desafío tecnocientífico asociado a la labor científica que involucra grandes bases de datos. Por ejemplo, se espera que el Observatorio Vera Rubin, actualmente en construcción en Chile por un esfuerzo internacional —y conocido hasta hace poco como LSST (por *The Large Synoptic Survey Telescope*)—, produzca en total unos 500 petabytes de datos. El *Square Kilometre Array*, que podría dar su primera luz en 2027, generaría un total planificado de aproximadamente 4 exabytes.

Solo las dificultades asociadas al almacenamiento y al transporte de un volumen tan significativo de datos obligan a montar equipos con gran capacidad de procesamiento para preseleccionar los datos que finalmente se almacenan y sobre los cuales se llevan a cabo las tareas posteriores de descubrimiento, además de proveer medios para el análisis de datos en tiempo real, que muchas veces son críticos para la investigación de eventos astronómicos de corta duración o aquellos novedosos en tanto no pudieron ser predichos de manera de planificar observaciones o misiones programadas. Aquí ya se puede observar la necesidad de comprender cómo las decisiones metodológicas implicadas en el diseño de un instrumento de captura de señales deben partir de un consenso por parte de la comunidad científica involucrada para determinar, a través de lo que puede verse como un juicio de valor, qué es lo que debe priorizarse con los recursos (técnicos, económicos y epistémicos) en un momento determinado.

El reciente auge en la aplicación de inteligencia artificial (IA) en contextos científicos como técnica de descubrimiento es heredero de múltiples líneas de trabajo, repletas tanto de éxitos como fracasos, que abarcan muchas décadas y un sinnúmero de disciplinas. La aplicación exitosa

de arquitecturas de IA basada en redes neuronales a datos astronómicos puede situarse a principios del siglo XXI, siendo (Tagliaferri et al., 2003) un claro ejemplo. Sin embargo, es recién con la aparición de las llamadas arquitecturas de aprendizaje profundo o *deep learning* (LeCun et al., 2015) que se puede apreciar un cambio más radical en cuanto al tipo de estrategias de indagación de conjuntos de datos que se habilita. Ahora bien, la transformación no está tanto en términos de la automatización del descubrimiento *per se*, sino en la creación de nuevas interfaces por medio de las cuales es posible dar sentidos a los datos y manipular o transformar *tipos* de datos, todo ello con una facilidad que hace apenas unos años era impensada.

Si bien para muchos fenómenos la cantidad de datos disponibles y ya clasificados por expertos (o mediante una tarea simplificada en la que se pide a voluntarios humanos colaboración en la tarea por medio de aplicaciones web), en otros casos las técnicas de manipulación de imágenes facilitadas por las tecnologías de aprendizaje automático profundo permiten generar datos sintéticos sobre los que luego se pueden entrenar otros algoritmos que podrán ser utilizados para encontrar patrones significativos en datos nuevos, entre los que se destaca la detección de exoplanetas por imágenes directas, una tarea muy difícil incluso para expertos por la debilidad de la señal con respecto al ruido (ver fig. 1).

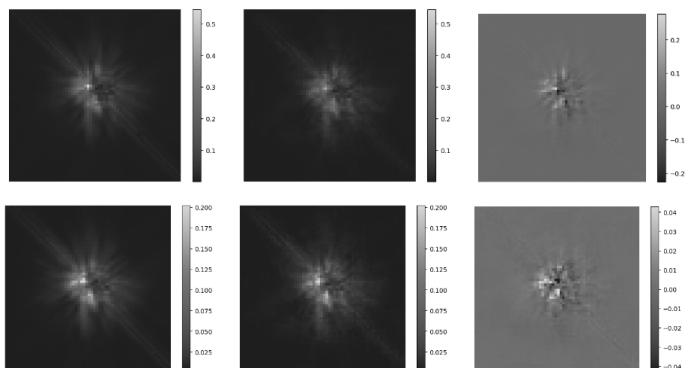


Figura 1. A la izquierda se observa el patrón de moteado que surge al filtrar la luz de la estrella a la que orbita un exoplaneta observado de manera directa. La columna del medio muestra la reconstrucción artificial de una imagen semejante por medio de una red adversaria generativa. La columna final es un mapa de las diferencias o del “grado de similitud” entre las anteriores a partir del valor de cada píxel (Yip et al., 2020).

Hay una gran cantidad de literatura científica que puede consultarse como una introducción al estado actual de las técnicas de grandes datos en astronomía (e.g. Kong et al., 2020; Sachdeva et al., 2022; Skoda y Adam, 2020; Zhang y Zhao, 2015). La pregunta a la que busco tornar brevemente ahora es la de qué significa esta nueva clase de técnicas de exploración del vasto universo de datos para nuestras afirmaciones de conocimiento del universo.

3. De los datos a los fenómenos (y de regreso)

Si bien los filósofos han prestado bastante atención al uso de técnicas estadísticas en las ciencias e incluso algunos toman ciertas interpretaciones (epistémicas, habitualmente bayesianas) como una forma de dar cuenta o explicar la racionalidad misma de la ciencia y de las dinámicas de cambio teórico, muchas de las técnicas que se aplican en la actualidad tienen como objetivo transformar o reducir en dimensiones la gran complejidad de los datos para facilitar la tarea de encontrar en ellos patrones relevantes y no, como en las técnicas más clásicas, intentar poner a prueba una serie de hipótesis acerca de las distribuciones de probabilidad que podrían describir

el proceso de generación subyacente a los datos. Por esta razón, se trata todavía de un campo muy fértil para la exploración filosófica, especialmente aquellas que presten atención a las prácticas científicas y, en ellas, al uso de modelos.

Desde mi punto de vista, creo que el principal cambio que las nuevas técnicas de IA permiten está en la escala en la que se puede llevar a cabo una exploración sistemática de un espacio hiperdimensional de parámetros posibles con el objetivo de encontrar en ellos relaciones no triviales o patrones que puedan volverse significativos. Los algoritmos para hacer agrupamientos [*clustering*], clasificación, análisis de correlación e identificación de valores atípicos [*outliers*] dependen de lo que se asuma como objetos o procesos típicos en el dominio de trabajo. Detectar una anomalía en un conjunto de datos es una tarea primordial, puesto que puede indicar tanto un error en alguna de las etapas computacionales del procesamiento de datos o en el funcionamiento mismo de los instrumentos involucrados en la observación, mientras que al mismo tiempo puede revelar indicios de la existencia de un nuevo objeto de interés científico.

Quizás lo más importante para una lectura epistemológica de estas prácticas es que, cuando se las mira de manera generalizada, lo que se encuentra es la necesidad de establecer una métrica de similitud (ya sea una distancia o una densidad) en lo que podríamos llamar un “espacio de características” sobre el cual se pueden llevar a cabo comparaciones con datos provenientes de diferentes fuentes, como lo es, en el caso de la astronomía, la posibilidad de combinar observaciones de distintos rangos del espectro electromagnético, además de aquellas que puedan llegar a detectarse a partir de otra clase de interacción fundamental conocida, como las ondas gravitacionales. De esta manera, la IA como técnica permite un apreciable aumento en la cantidad de características que pueden evaluarse al mismo tiempo y la posibilidad de validar los resultados con simulaciones que tomen en cuenta las idiosincrasias de los instrumentos de detección; es solo a través de esta reconstrucción que se puede proceder a una proyección ontológica de los datos a un fenómeno que puede tomarse como causa u origen de una señal. En la proyección, por tanto, entra tanto el conocimiento que se pueda llegar a tener de la señal como del ruido sobre el que la señal se detecta. En esta dirección, estoy de acuerdo con James Woodward, quien en un importante artículo remarcaba que,

por lo general, una variedad de factores causales, muchos de ellos relacionados con los detalles de un dispositivo experimental o de detección concreto, desempeñarán un papel en la producción de un dato determinado o en la evaluación de su importancia como prueba. (Woodward, 1989, p. 395)

Quizás la forma más clara de apreciar esta tesis acerca de la exploración de un espacio de parámetros en busca de patrones significativos es apreciando un caso extremadamente simple cuya fertilidad epistémica sigue siendo sorprendente: un diagrama de Hertzsprung-Russell (fig. 2).

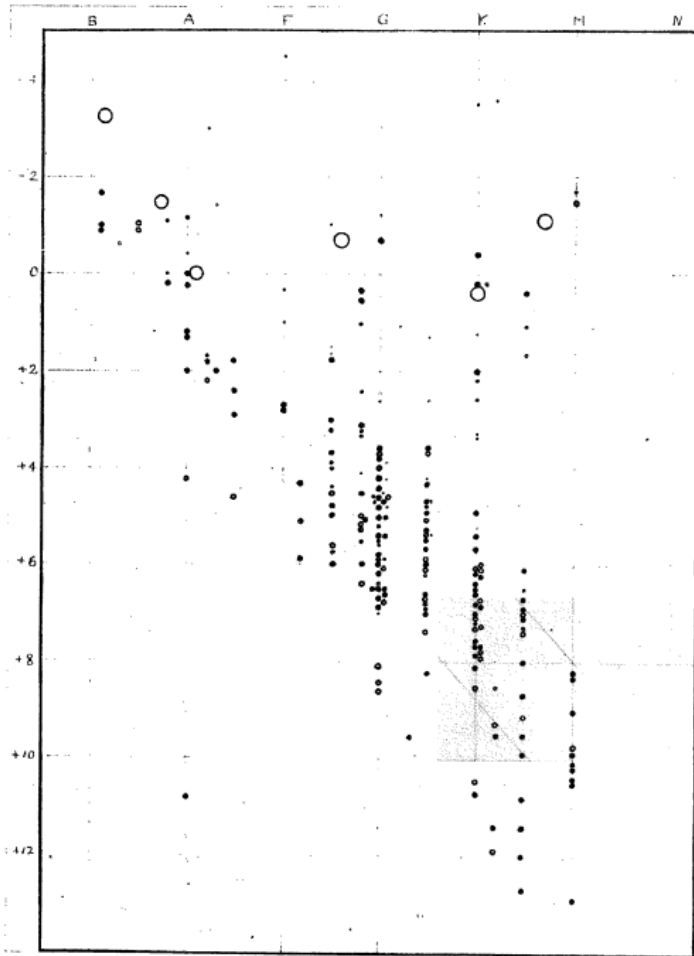


Figura 2. Diagrama de Hertzsprung-Russell en la publicación original de H.N. Russell (1914, p. 285). Sobre la clasificación estelar introducida por Antonia C. Mauri, una de las “Computadoras de Harvard”, Hertzsprung señaló en 1908 la relación por el tipo de agrupamiento en torno a la luminosidad. En base a esto, el primer diagrama propiamente dicho fue publicado por su colega Hans Rosenberg dos años después (Rosenberg, 1910).

En este gráfico de dispersión se puede apreciar la relación no trivial entre una serie de parámetros, como pueden ser la luminosidad de una serie de estrellas con respecto a su clasificación espectral o temperatura efectiva, lo cual ya sugiere un entramado entre una serie de observaciones plasmadas *como* datos y un conocimiento de fondo acerca de las observaciones y de los fenómenos que permiten la creación del diagrama mismo; que ahora puede ser utilizado para nuevas inferencias acerca de lo que están representando. Claramente, el hecho crucial está en que la relación entre estos parámetros no es trivial, es decir, no cubren todo el plano y permiten, por tanto, la postulación de hipótesis acerca de los eventuales fenómenos que están detrás de esta particular distribución. Mediante las técnicas de manipulación de datos contemporáneas, lo que se habilita es una exploración de muchos más factores o parámetros al mismo tiempo, cuyo sentido físico puede juzgarse solo en términos de la similitud con resultados de simulaciones y experimentos de otras áreas de la ciencia. A esto hemos dado a llamar una “articulación de modelos” (Ilcic y Reynoso, 2018), aunque claramente hay que atender a que toda articulación es siempre muy provisoria y simplemente un paso más en la búsqueda de nuevas y más profundas relaciones entre los factores que se pueda correlacionar.

Conclusiones

Si bien es posible que en el futuro las técnicas de aprendizaje maquínico puedan automatizar cada vez más algunos aspectos del proceso de descubrimiento de conocimiento científico en bases de datos, de momento su principal potencial está en su capacidad de funcionar como herramientas sobre las cuales se pueden crear *interfaces* o *espacios de interacción* para que los expertos de distintas disciplinas estudien los datos y hagan inferencias acerca de los procesos que podrían haberlos generado. Es precisamente en esta *inferencia explicativa* a la causa más probable que pueda postularse como origen de la señal que se realiza una proyección ontológica para intentar justificar el paso de las afirmaciones sobre datos a los eventos o procesos de la naturaleza.

El énfasis en los datos cambia el tipo de prácticas asociadas a la validación de instrumentos y simulaciones, presentando tanto numerosos desafíos metodológico-teóricos e ingenieriles, como una infinitud de posibilidades para la exploración sistemática de un cada vez mayor espacio

de parámetros que recorrer en busca de relaciones o parámetros significativos sobre los cuales llevar a cabo una proyección ontológica acerca de los tipos de procesos naturales que podrían subyacer, desde las mejores teorías disponibles; eso sí, siempre atentos a las anomalías que, necesariamente, ocurrirán. Lo que esta perspectiva sobre los aspectos materiales deja entrever es que, allí en donde se encuentran teorías, observaciones y simulaciones, se genera una interfaz solo tras numerosas decisiones de diseño a base de las restricciones impuestas tanto por la materialidad técnica como por el conocimiento disponible.

Agradecimientos

Quiero expresar mis agradecimientos a los organizadores y a los asistentes de las 1ras Jornadas de Epistemología e Historia de la Astronomía por sus valiosos trabajos y conversaciones supralunares. Los cuidadosos comentarios hechos por un/a revisor/a anónimo de la versión original de este trabajo fueron de vital importancia para mejorar el ajuste de parámetros necesario para reducir el nivel de ruido en la presentación escrita de estas ideas, las anomalías siguen siendo mi culpa y material para trabajos futuros. Parte de esta investigación se llevó a cabo en el marco de los proyectos FONCyT-PICT-2016-1524, Consolidar de SECyT-UNC (2018-2022), y una beca doctoral interna de CONICET, convocatoria 2015.

Bibliografía

- Atkins, D. E., Droegemeier, K. K., Feldman, S. I., Garcia-Molina, H., Klein, M. L., Messerschmitt, D. G., Messina, P., Ostriker, J. P., y Wright, M. H. (2003). *Revolutionizing science and engineering through cyberinfrastructure: Report of the National Science Foundation blue-ribbon advisory panel on cyberinfrastructure* (pp. 203-226). National Science Foundation.
- Bozzoli, M. (2015). Abducción, evidencia y observación en astronomía. En V. Rodríguez, M. Velasco, & P. García (Eds.), *Epistemología y prácticas científicas* (pp. 73-98). Imprenta de la FFyH, UNC.

- Djorgovski, S. G., y Williams, R. (2005). *Virtual observatory: From concept to implementation* (arXiv:astro-ph/0504006). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.astro-ph/0504006>
- Durán, J. M. (2018). *Computer simulations in science and engineering: Concepts - practices - perspectives*. Springer International Publishing. // www.springer.com/gp/book/9783319908809
- Elliott, K. C., Cheruvilil, K. S., Montgomery, G. M., y Soranno, P. A. (2016). Conceptions of good science in our data-rich world. *BioScience*, 66(10), 880-889. <https://doi.org/10.1093/biosci/biw115>
- Galison, P. (1996). Computer simulations and the trading zone. En P. Galison & D. J. Stump (Eds.), *The disunity of science: Boundaries, contexts, and power* (pp. 118-157). Stanford University Press.
- García, P. (2015). Simulaciones computacionales y modelos: consideraciones metodológicas. En V. Rodríguez, M. Velasco, & P. García (Eds.), *Epistemología y prácticas científicas* (pp. 117-134). Imprenta de la FFyH, UNC.
- Hacking, I. (1983). *Representing and intervening: introductory topics in the philosophy of natural science*. Cambridge University Press.
- Hacking, I. (1992). The self-vindication of the laboratory sciences. En A. Pickering (Ed.), *Science as practice and culture* (29-64). University of Chicago Press.
- Hey, T., Tansley, S., y Tolle, K. (Eds.). (2009). *The fourth paradigm: Data-intensive scientific discovery*. Microsoft Research.
- Humphreys, P. (1995). Computational science and scientific method. *Minds and Machines*, 5(4), 499-512. <https://doi.org/dttx9w>
- Humphreys, P. (2004). *Extending ourselves: computational science, empiricism, and scientific method*. Oxford University Press.

- Ilcic, A. A., y Reynoso, J. (2015). Si de entender se trata: el rol de la visualización en el procesamiento de datos. En V. Rodríguez, P. García, & M. Velasco (Eds.), *Epistemología y prácticas científicas* (pp. 171-185). Imprenta de la FFyH, UNC.
- Ilcic, A. A., y Reynoso, J. (2018). Hacia una articulación de modelos: el caso de big data. En S. Chibeni, L. Zaterka, J. Ahumada, & D. Letzen (Eds.), *Filosofía e Historia de la Ciencia en el Cono Sur* (pp. 181-192). Editorial de la Universidad Nacional de Córdoba. <http://www.afhic.com/wp-content/uploads/2019/01/hacia-una-articulaci%C3%B3n-de-modelos.pdf>
- Kong, L., Huang, T., Zhu, Y., y Yu, S. (2020). *Big data in astronomy: Scientific data processing for advanced radio telescopes*. Elsevier.
- LeCun, Y., Bengio, Y., y Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436-444. <https://doi.org/bmqp>
- McCormick, B. H., DeFanti, T. A., y Brown, M. D. (1987). Visualization in scientific computing: a synopsis. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 7(7), 61-70. <https://doi.org/10.1109/MCG.1987.277014>
- Morrison, M. (2015). *Reconstructing reality: Models, mathematics, and simulations*. Oxford University Press.
- Napoletani, D., Panza, M., y Struppa, D. C. (2011). Agnostic science. Towards a philosophy of data analysis. *Foundations of Science*, 16(1), 1-20. <https://doi.org/cw6c9n>
- Oberkampff, W. L., y Roy, C. J. (2010). *Verification and validation in scientific computing*. Cambridge University Press.
- Pasquinelli, M. y Joler, V. (2021). El Nooscopio de manifiesto: La inteligencia artificial como instrumento de extractivismo del conocimiento (J. Blanco, A. Berti, & A. A. Ilcic, Trad.). *laFuga*, 25.

- <https://lafuga.cl/el-nooscopio-demanifiesto/1053> (Obra original de 2020)
- Preston, B. (2013). *A philosophy of material culture: action, function, and mind*. Routledge.
- Radder, H. (2012). *The material realization of science: from habermas to experimentation and referential realism*. Springer. (Obra original de 1988)
- Rosenberg, H. (1910). *Über den Zusammenhang von Helligkeit und Spektraltypus in den Plejaden*. <https://doi.org/10.1002/asna.19101860503>
- Russell, H. N. (1914). Relations between the spectra and other characteristics of the stars. *Popular Astronomy*, 22, 275-294. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1914PA.....22..275R>
- Sachdeva, S., Watanobe, Y., y Bhalla, S. (2022). *Big-data-analytics in astronomy, science, and engineering: 9th International Conference on Big Data Analytics, BDA 2021, Virtual Event, December 7-9, 2021, Proceedings*. Springer Nature.
- Skoda, P., y Adam, F. (2020). *Knowledge discovery in big data from astronomy and earth observation: Astrogeoinformatics*. Elsevier.
- Szalay, A. y Gray, J. (2001). The world-wide telescope. *Science*, 293(5537), 2037-2040. <https://doi.org/10.1126/science.293.5537.2037>
- Tagliaferri, R., Longo, G., Andreon, S., Capozziello, S., Donalek, C., y Giordano, G. (2003). Neural networks for photometric redshifts evaluation. En B. Apolloni, M. Marinaro, & R. Tagliaferri (Eds.), *Neural Nets* (pp. 226-234). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-45216-4_26

- Turing, A. M. (2004). Lecture on the Automatic Computing Engine. En B. J. Copeland (Ed.), *The essential Turing* (pp. 378-394). Clarendon Press. (Obra original de 1947)
- Weisberg, M. (2013). *Simulation and similarity: using models to understand the world*. Oxford University Press.
- Winsberg, E. B. (2010). *Science in the age of computer simulation*. The University of Chicago Press.
- Woodward, J. (1989). Data and phenomena. *Synthese*, 79(3), 393-472. <https://doi.org/b8mr9h>
- Yip, K. H., Nikolaou, N., Coronica, P., Tsiaras, A., Edwards, B., Changeat, Q., Morvan, M., Biller, B., Hinkley, S., Salmond, J., Archer, M., Sumption, P., Choquet, E., Soummer, R., Pueyo, L., y Waldmann, I. P. (2020). *Pushing the limits of exoplanet discovery via direct imaging with deep learning* (Vol. 11908, pp. 322-338). https://doi.org/10.1007/978-3-030-46133-1_20
- Zhang, Y., y Zhao, Y. (2015). Astronomy in the big data era. *Data Science Journal*, 14(0), 11. <https://doi.org/10.5334/dsj-2015-011>



Kepler e o progresso científico

Anastasia Guidi Itokazu*

Resumo

Neste artigo reconstruo a visão do astrônomo seiscentista Johannes Kepler acerca do progresso científico. Dedicado estudioso da história da astronomia, Kepler nos legou interessantes reflexões acerca do progresso dessa ciência, as quais se tornam ainda mais relevantes quando consideramos que ele foi um dos protagonistas da Revolução Copernicana. Se por um lado Kepler se revela um homem de seu tempo, empolgado com as grandes navegações e todas as novas descobertas científicas de sua época, por outro ele se mostra profundamente original, pelo recurso à astronomia ptolomaica mesmo ao defender o sistema copernicano e também por sua concepção vitalista de natureza.

Palavras chave: *Kepler; Progresso; Revolução Científica; História da Astronomia.*

Abstract

This article is a reconstruction of XVIIth Century astronomer Johannes Kepler's views on scientific progress. Dedicated researcher of the history of astronomy, Kepler left us some quite interesting reflections about the progress of this science, which turn out even more relevant when one considers he was a protagonist of the Copernican Revolution. If on the one hand Kepler appears as a man of his times, excited about the great navigations and newest scientific discoveries, on the other he is deeply original for his commitment to the legacy of Ptolemy, even as he defends the Copernican system, and for his vitalist conception of nature.

Keywords: *Kepler; Progress; Scientific Revolutions; History of Astronomy.*

* Universidade Federal do ABC (UFABC), Brasil.

Introdução

É possível argumentar que o progresso científico constitui o problema central da filosofia da ciência desde a publicação da *Estrutura das revoluções científicas* de Thomas Kuhn (Kuhn, 1989)¹, que trouxe à luz a noção de incomensurabilidade dos paradigmas. Criticada tanto pelo pós modernismo quanto por epistemologias feministas e decoloniais - por sua arbitrariedade, consequência imediata e aparentemente inevitável da incomensurabilidade apontada por Kuhn, mas também por sua incapacidade de abranger uma pluralidade de visões de mundo ou a complexidade da vida, a noção de progresso, seja ele cognitivo ou social, ganha importância no contexto da mesma crise social, ecológica e epistêmica que a coloca em xeque. O mundo muda com o tempo? Ele muda para melhor? É possível encontrar referências teóricas que orientem essa mudança? O que significa ser progressista? Como incorporar os conhecimentos não europeus, africanos e ameríndios, no grande edifício da ciência? Como comparar visões de mundo distintas?

O astrônomo alemão Johannes Kepler viveu entre 1571 e 1630, época que coincide com a expansão colonial das potências europeias e com o auge da caça às bruxas na Europa (Federici, 2017, p. 315). Estudioso das astronomias de Ptolomeu e de Copérnico, Kepler mobiliza a história dessa antiquíssima ciência ao longo de toda a sua obra. Neste artigo, procurarei reconstruir a visão kepleriana de progresso científico. Com isso, espero contribuir para o debate mostrando que mesmo no período em que nascia a ciência moderna e a nova visão de mundo que sustentaria o Iluminismo, a questão de progresso (bem como o tema subjacente da comparação de

1 A edição original da *Estrutura das revoluções científicas*, *The structure of scientific revolutions*, em inglês, é de 1962. Em 1969 foi publicada uma segunda edição acrescida de um posfácio, onde são discutidas mais a fundo as noções de incomensurabilidade e progresso. O tema é muito complexo para ser explicado em uma nota e fazer isso exigiria um artigo à parte. Em linhas muito gerais, Kuhn defende que em uma revolução científica, como a passagem da visão geocêntrica de mundo para a heliocêntrica no início do Século XVII, os próprios critérios sobre o que é uma boa teoria científica são colocados em jogo. Em outras palavras, se o próprio conceito de cientificidade é questionado, fica difícil estabelecer a racionalidade do processo de mudança teórica (coisa que Kuhn, entretanto, não desiste jamais de fazer).

paradigmas, ou “hipóteses astronômicas”, como diria Kepler) já envolvia complexidades que o autor não se furta em explorar.

Um copernicano convicto

Kepler foi, junto com Galileu, um dos principais defensores do copernicanismo quando a nova visão do cosmos suscitava problemas imensos que não era ainda capaz de responder. A começar pela gravidade, que não mais poderia ser entendida como movimento natural em direção ao centro do cosmos uma vez que este não mais coincidia com o centro da Terra (que segundo Copérnico se movia ao redor do Sol), passando pela inexistência dos efeitos notáveis desse movimento que eram previstos pela física aristotélica, como no vôo dos pássaros, no comportamento das nuvens e no lançamento dos projéteis, até questões mais técnicas como a inexistência da variação no diâmetro aparente de Vênus, que seria de se esperar no sistema copernicano, não faltavam motivos propriamente científicos para que a nova cosmologia fosse considerada polêmica - isso para não entrarmos na questão de suas consequências metafísicas e religiosas.

Apesar dessas dificuldades, Kepler defendeu o sistema de Copérnico desde a sua juventude, quando teve contato com ele nas aulas de Michael Mästlin, na Universidade de Tübingen. Seu primeiro livro publicado, o *Mistério cosmográfico* (Kepler, 1992-a), de 1596, defendia o copernicanismo como a verdadeira estrutura do mundo criado por Deus. Ali, Kepler argumentou que esse sistema, onde o Sol ocupa o centro, possibilitaria compreender racionalmente o cosmos, que para ele continuava limitado pela esfera das estrelas fixas. Como diz o título estendido do *Mistério*, ali são fornecidas explicações para o número, os tamanhos e os movimentos dos orbes, todas baseadas no sistema de Copérnico.

Para explicar o número e os tamanhos dos orbes, Kepler propõe uma construção geométrica que teria servido de projeto na Criação. (Figura 1) No centro do sistema está o Sol, e em torno dele estão dispostos os seis planetas visíveis a olho nu e portanto conhecidos à época: Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter e Saturno. As distâncias entre os orbes são determinadas pelos cinco sólidos pitagóricos, intercalados entre as esferas na seguinte ordem (de fora para dentro): cubo, tetraedro, dodecaedro, icosaedro e octaedro. De acordo com o argumento do livro, essas figuras geométricas fornecem uma explicação apriorística para as distâncias entre

os planetas e também para a sua quantidade, pois como são cinco os sólidos regulares para determinar suas distâncias relativas, há portanto seis planetas: “se alguém me perguntasse por que há apenas seis esferas móveis, responderia que porque não são precisas mais de cinco proporções, que são o mesmo número dos corpos regulares nas matemáticas.” (Kepler, 1992-a, pp. 97-100) Kepler esclarece ainda que esses sólidos fornecem a estrutura racional do cosmos, passível de ser descoberta *a priori* pela mente racional do ser humano, mas não têm existência concreta no céu - seria, para ele, monstruoso e absurdo situá-los ali.

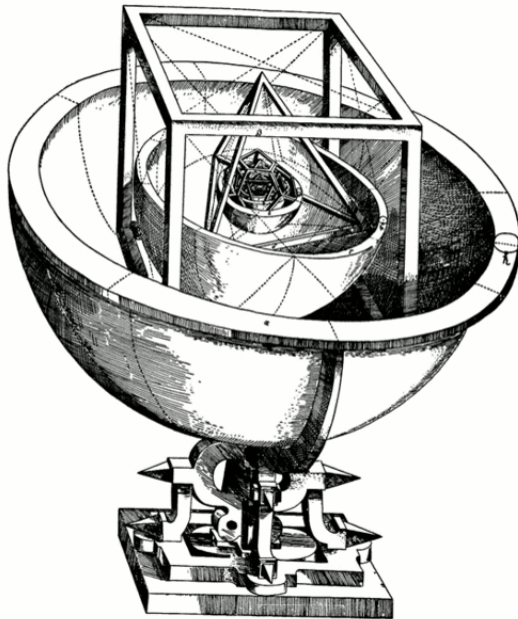


Figura 1. O sistema dos sólidos geométricos proposto no *Mistério cosmográfico* e posteriormente retomado na *Harmonia do mundo*. Nele, os cinco sólidos pitagóricos são intercalados entre os espaços atribuídos a cada planeta, determinando não apenas o seu número (seis, pois há cinco sólidos para se interpor entre eles) como também suas distâncias ao Sol. (Fonte: Kepler 1992-a, p. 98-99.)

Já a explicação dos *movimentos dos orbes* fornecida por Kepler no *Mistério* baseia-se no fato, já observado por Copérnico, de que os planetas mais distantes do Sol completam seus períodos mais lentamente do que aqueles mais próximos. Aqui, Kepler vai além da simples constatação de uma ordenação numérica e faz uma afirmação ousada que seria de suma importância para a física celeste que ele haveria de desenvolver nos anos subsequentes: os movimentos de todos os planetas ao redor do Sol são causados por uma única alma motriz, situada no Sol.

Pois assim como ocorre com a fonte de luz no Sol, e a origem do círculo está no lugar do Sol, isto é, no centro, assim também a vida, o movimento e a alma do mundo residem no mesmo Sol, para que assim resulte que o repouso cabe às [estrelas] fixas, aos planetas, os atos segundos dos movimentos e ao Sol o próprio ato primeiro, que é incomparavelmente mais nobre que os atos segundos em todas as coisas. Não é de maneira distinta que o mesmo Sol ultrapassa amplamente todos os demais pela beleza de seu aspecto, a eficácia de sua força e o esplendor de sua luz (Kepler, 1992-a, pp. 193-194).

Os movimentos dos planetas podem ser atribuídos a uma causa única no sistema copernicano, o Sol, e daí obtém-se uma explicação para o fato observável de que os movimentos planetários tornam-se mais lentos conforme se afastam do centro do sistema, sendo Mercúrio o mais veloz e Saturno o mais lento. A solução definitiva para essa questão só seria encontrada por Kepler muitos anos mais tarde, na *Harmonia do Mundo*, com aquela que ficaria conhecida como a sua terceira lei. Entretanto, o germe da solução já está presente aqui, nessa obra de juventude que Kepler voltaria a publicar em 1621, quando já era um astrônomo famoso, pela fertilidade das ideias nela contidas: “pois embora fosse ainda muito jovem e tenha sido este o meu primeiro trabalho na profissão astronômica, não obstante seu êxito foi amplamente comprovado em tempos posteriores...” (Kepler, 1992-a, p. 47).

Não resta dúvida de que já no *Mistério cosmográfico* o copernicanismo representa para Kepler a verdadeira estrutura do cosmos e um enorme progresso com relação à astronomia geocêntrica. Tratarei, nas seções a seguir, de explicar mais exatamente *como* ele entende esse progresso.

Três sistemas de mundo

Ainda pouco estudada, a *Defesa de Tycho contra Ursus* (In: Jardine, 1984), obra póstuma e inacabada redigida por Kepler em 1601, constitui um dos documentos onde melhor se pode acompanhar o pensamento de um cientista durante um processo de mudança de paradigma. A obra foi encomendada a Kepler por Tycho Brahe, o maior observador dos céus desde Hiparco, de quem Kepler se tornara assistente. Tycho estava envolvido em uma amarga polêmica com seu assistente anterior, um astrônomo de origem humilde chamado Ursus², acerca da prioridade do sistema misto de mundo.

Com a morte repentina de Tycho, Kepler abandonou a polêmica (e o texto inacabado), mas seu argumento é precioso para compreendermos como se dá a escolha teórica durante aquilo que hoje entendemos como uma revolução científica, a partir do relato de um astrônomo que trabalhou ativamente para tornar amplamente aceito o sistema de Copérnico.

Na *Defesa de Tycho*, Kepler precisa, logo de saída, explicar o sucesso preditivo da astronomia geocêntrica de Ptolomeu, que logra representar corretamente os movimentos dos planetas ainda que se baseie em uma hipótese falsa, a saber, a imobilidade da Terra no centro do cosmos. Ele então indaga: se tanto Copérnico quanto Ptolomeu conseguem explicar a rotação diária dos céus, isso significa então que "o que é verdade segue igualmente do que é verdadeiro e do que é falso? Longe disso! Pois as ocorrências listadas acima e mil outras mais, não acontecem por causa do movimento dos céus, ou por causa do movimento da Terra, na medida em que é um movimento do céu ou da Terra. Antes, acontecem na medida em que ocorre um grau de separação entre a Terra e o céu por um caminho regularmente curvado com respeito ao caminho do Sol, qualquer que seja dos dois corpos [céu ou Terra] que efetue essa separação." (Kepler, In: Jardine, 1984, p. 142) Ainda que não disponha de um vocabulário estabelecido para tratar desse tema, Kepler claramente refere-se aqui àquilo que nós chamamos de *movimento relativo* entre a Terra e o céu. Ptolomeu não derivou suas predições bem sucedidas da tese da centralidade da Terra,

2 Nicolaus Reimers Baer, nome latinizado como Ursus, viveu entre 1551 e 1600. Um excerto do seu *Tractatus* encontra-se traduzido, ao lado da Defesa, em JARDINE, 1984.

mas sim de um movimento relativo que também pode ser compreendido em termos copernicanos.

Resta uma questão: se as observações podem ser igualmente interpretadas em termos geo ou heliocêntricos, pois o que importa são os “graus de separação” ou movimentos relativos, então como saber que o sistema copernicano corresponde ao verdadeiro arranjo do cosmos? Este é um ponto central na astronomia física de Kepler, pois ele compreende que a verdade do sistema copernicano só pode ser demonstrada pelas explicações causais que este sistema proporciona. “Mesmo se as conclusões de duas hipóteses coincidem no âmbito da geometria, cada hipótese vai ter seus próprios corolários no âmbito da física”. (Kepler, *In: Jardine*, 1984, p. 141-142)³ O uso da física celeste para demonstrar a verdade do sistema heliocêntrico vai ser o fio condutor da *Astronomia nova*, tema da próxima seção. Por hora, não é exagero dizer que na *Defesa de Tycho* Kepler adianta uma tese muito semelhante àquela que seria séculos mais tarde avançada por Quine, e que ficaria conhecida como a “subdeterminação empírica das teorias”.⁴ As observações não são suficientes para determinar qual é o verdadeiro sistema de mundo, e é por esse motivo que “o astrônomo não deve ser excluído da comunidade dos filósofos que indagam sobre a natureza das coisas.” (Kepler, *in Jardine* 1984, p. 144)

Embora hoje muitos manuais de história das ciências apontem Kepler como o inventor da física celeste, o próprio astrônomo não se considerava tão inovador neste ponto. Refutando a afirmação de Ursus, segundo quem “as hipóteses são suposições fictícias” (Ursus, *In: Jardine*, 1984, p. 41), Kepler acreditava que as hipóteses sempre buscaram a verdade, por toda a história da astronomia. Afinal, como ele nos lembra, o problema

3 Quando Kepler fala em astronomia física na parte física da astronomia, ele tem em mente a explicação das *causas* dos movimentos e variações observados.

4 “Any statement can be held true come what may, if we make drastic enough adjustments elsewhere in the system. Even a statement very close to the periphery can be held true in the face of recalcitrant experience by pleading hallucination or by amending certain statements of the kind called logical laws. Conversely, by the same token, no statement is immune to revision. Revision even of the logical law of the excluded middle has been proposed as a means of simplifying quantum mechanics; and what difference is there in principle between such a shift and the shift whereby Kepler superseded Ptolemy, or Einstein Newton, or Darwin Aristotle?” Quine, 1951, p.37.

das posições relativas das esferas do Sol, de Vênus e de Mercúrio havia sido abordado pelo menos desde Pitágoras e por filósofos como Platão, Eudoxo e Aristóteles. Do ponto de vista observacional, os três astros caminham juntos no céu. A decisão aqui não pode ser obtida pela astronomia matemática baseada nas observações, mas somente “as plausibilidades das razões físicas levam os autores em diferentes direções.” (Kepler, *In. Jardine*, 1984, p. 179.)

Essas razões físicas são justamente aquelas cuja investigação irá levá-lo mais tarde, na *Astronomia nova*, a abordar novos problemas, como a natureza magnética ou quase magnética da força motriz solar, sua forma de propagação ou a maneira como ela interage com os enormes magnetos que são os planetas.

Mas ainda na *Defesa de Tycho*, o problema dos movimentos de Mercúrio e de Marte é retomado algumas páginas adiante, mais uma vez no contexto de refutação da história da astronomia proposta no *Tractatus*. Para o que nos interessa aqui, Kepler considera a tradição romana de descrever os movimentos de Mercúrio e Vênus como “epiciclos” ao redor do Sol, que por sua vez gira em torno da Terra. Esse sistema aparece em autores como Macróbio, Plínio, Vitruvius e Capella, (Kepler, *In. Jardine*, 1984, p. 198.), este último citado por Ursus como seu inventor. Vemos aqui um exemplo particularmente claro da maneira cumulativa como Kepler descreve a história da astronomia, mesmo estando ele próprio imerso nos turbilhões daquele período que nós enxergamos como o exemplo maior do que seria uma revolução científica. Depois de reconhecer a superioridade evidente dos sistemas que colocam Mercúrio e Vênus para girar em torno do Sol, a próxima parada só pode ser o sistema de Copérnico.

A partir da nossa perspectiva contemporânea, sabemos que Kepler publicaria em 1618 uma tabela muito mais precisa do que aquelas que até então existiam, aplicando os dados de Tycho Brahe à sua interpretação física do heliocentrismo. Mas, em 1601, os três sistemas de mundo eram equivalentes do ponto de vista do acordo com as observações. Kepler parte, então, para uma consideração dinâmica das causas dos movimentos planetários nos três sistemas, e é essa investigação, carregada de pressupostos metafísicos, que visa demonstrar a realidade do sistema copernicano. Este tema atravessa todo o argumento da *Astronomia nova*.

***Astronomia nova* ou física celeste**

As hipóteses matemáticas da astronomia de Hiparco e Ptolomeu haviam sido em grande medida aproveitadas por Copérnico no *De Revolutionibus*. Porém, elas já não mais serviam para Kepler, que dispunha dos dados extremamente precisos coletados por Tycho Brahe, os quais se mostraram incompatíveis com qualquer construção baseada nos excêntricos e epiciclos da astronomia alexandrina. O interessante aqui é que para reformar os métodos matemáticos da astronomia Kepler se volta inicialmente ao ponto equante ptolomaico, dispositivo matemático que produz uma velocidade variável no orbe do planeta e que justamente por este motivo havia sido abandonado por Copérnico.

Para compreendermos a opção de Kepler pelo ponto equante ptolomaico, precisamos entender que a *Astronomia nova* propõe uma física celeste, construída a partir da ação do Sol sobre os planetas, como seu longo título já indica: *Astronomia nova baseada em causas ou física celeste apresentada através de comentários sobre os movimentos da estrela Marte a partir das observações do ilustre Tycho Brahe*. Nesta, que é a sua obra mais importante, Kepler apresenta o tortuoso caminho que o levou à descoberta da forma elíptica das órbitas dos planetas (além do próprio conceito moderno de órbita planetária e daquela que hoje chamamos de lei das áreas).

A questão aqui não é apenas conduzir o leitor até um entendimento do assunto da maneira mais fácil, mas também, e principalmente, pelos argumentos, meandros e até ocorrências fortuitas através das quais o autor primeiro chegou a uma tal visão. Assim, quando contamos [os feitos de] Cristóvão Colombo, Magalhães, e os portugueses, não ignoramos simplesmente os erros através dos quais eles primeiro desbravaram a América, o mar da China e a costa da África; ao invés disso, nós não gostaríamos que fossem omitidos, o que acabaria por nos privar de um enorme prazer na leitura.⁵

Embora só vá ser de fato explicada nos capítulos 33-35, a ideia de que o Sol move os planetas através de uma força motriz solar serve de guia em todo intrincado percurso que nos é proposto na *Astronomia nova*. O Sol não é apenas o centro do mundo do ponto de vista arquitetônico, mas também seu centro dinâmico: “a fonte da vida no mundo (visível no

5 Kepler, 1992-b, p. 78.

movimento dos céus) é a mesma que a fonte da luz que adorna a máquina inteira, e que é também a fonte do calor através do qual tudo cresce (...)” (Kepler, 1992-b, p. 379) Do ponto de vista dos modelos ou hipóteses geométricas, a ideia de que o Sol move os planetas e de que essa ação enfraquece conforme aumenta a distância até ele significa que em uma órbita excêntrica cada ponto tem uma distância diferente até o Sol e portanto uma velocidade também diferente: “a rapidez no periélio e a lentidão no afélio são muito aproximadamente proporcionais às linhas traçadas desde o centro do mundo até o planeta.” (Kepler, 1992-b, p. 373)

A solução definitiva proposta por Kepler para o problema da descrição da variação contínua de velocidade conforme um planeta descreve sua órbita é a lei das áreas. Que ele tenha chegado a esse resultado a partir de um retorno ao ponto equante ptolomaico (que no final das contas corresponde ao foco vazio da órbita elíptica) nos mostra como sua visão continuísta da história da astronomia permitiu que ele tivesse um amplo arsenal diante de si para empreender sua vitoriosa *guerra contra Marte*. Ao contrário de um Galileu, que zomba dos aristotélicos no seu *Diálogo sobre os dois máximos sistemas de mundo*, Kepler conhece a fundo e sabe exatamente o que tomar emprestado da astronomia de posição do *Almagesto* de Ptolomeu.

Na astronomia ptolomaica, o ponto equante é o centro de um círculo imaginário denominado círculo equante, e é em relação a ele que a velocidade do planeta no círculo que efetivamente percorre é uniforme. Isso significa que o planeta não viaja uniformemente com relação ao centro (vazio) do círculo nem tampouco com relação à Terra, O ponto equante situa-se em uma posição simétrica àquela da Terra com relação ao centro do círculo excêntrico, sobre a linha das apsides (ver figura). Kepler observa que Ptolomeu não justifica no *Almagesto* esse posicionamento do ponto equante, Ele próprio, porém, vai investigá-lo, motivado pela ideia de que a velocidade do planeta de fato varia em seu percurso em volta do Sol.

por ele como uma imensa biblioteca ao alcance de suas mãos, onde ele pode encontrar os recursos necessários para seguir avançando.

Vale notar que Kepler não acredita ter resolvido todos os problemas da astronomia. Ele entende que suas explicações levam a novas questões, se já não no âmbito da astronomia de posição, naquele da física celeste. Para citar apenas um exemplo, na *Astronomia nova* ele não se furta de dizer ao seu leitor que não conseguiu explicar como a interação entre o magnetismo do planeta interage com a força solar de modo a produzir as aproximações e afastamentos que resultam na forma elíptica das órbitas:

Estou satisfeito que este exemplo magnético demonstre a possibilidade geral do mecanismo proposto. No que tange aos detalhes, entretanto, eu tenho dúvidas. Pois quando é a Terra que está em questão, é certo que seu eixo, cuja direção paralela e constante produz as estações do ano e os pontos cardeais, não está bem posicionado para gerar esta reciprocidade ou este afélio [que observamos]. O apogeu do sol, ou o afélio da terra, hoje coincidem aproximadamente com os pontos solsticiais, e não com os equinociais, o que se encaixaria em nossa teoria (...) (Kepler, 1992-b, p. 559)

Assim como Hiparco influenciou Ptolomeu e Ptolomeu forneceu os modelos matemáticos usados por Copérnico, Kepler também espera ensinar os astrônomos do futuro, o que inclui apontar as questões deixadas em aberto. A *Astronomia nova* não foi escrita para leigos ou diletantes, mas para astrônomos profissionais que Kepler espera que sejam capazes de levar adiante o progresso dessa ciência.

No dia 7 de agosto de 1620 a mãe de Kepler, Katarina, tinha 73 anos e foi levada à prisão, acusada de bruxaria. (Rublack, 2015.) Kepler já era um astrônomo famoso e abandonou todos os seus afazeres para se dedicar exclusivamente, por mais de um ano, à defesa da mãe. Devido ao seu envolvimento no processo, grande parte dos documentos foi preservada, constituindo uma fonte histórica inestimável da caça às bruxas que vitimou centenas de milhares de mulheres na Europa da Revolução Científica (Federici, 2017, p. 292).

Sabemos que Katarina levou Kepler para ver o grande cometa de 1577 a partir de uma colina nas imediações de Weil der Stadt, quando ele tinha apenas seis anos, episódio que segundo ele próprio teria despertado o seu interesse em astronomia. Sabemos também que foi ela quem lutou

para que seu filho brilhante fosse inserido no sistema educacional recém criado pela Reforma de Lutero e Melanchton, em uma escola paroquial que o preparou para ingressar mais tarde na Universidade de Tübingen. No mais, sua atuação como “bruxa” corresponde estreitamente ao perfil delineado por Silvia Federici em seu estudo histórico sobre a perseguição às bruxas: uma mulher viúva, que embora trabalhasse duramente recorria aos vizinhos para pedir alguma ajuda em momentos mais difíceis, e que era também uma mulher ativa, falante e de opiniões fortes. (Federici, 2017, p. 114-115) Ou seja, Katarina certamente não era uma bruxa no sentido apontado por aqueles que a acusaram, mas insere-se no contexto social da perseguição às mulheres no período que coincide com a Revolução Científica⁶. É difícil responder em que medida exatamente o pensamento de Katarina a respeito da natureza influenciou aquele do astrônomo, pois faltam menções diretas nas fontes. Em todo caso, a dedicação de Kepler à defesa de sua mãe, ímpar no período da caça às bruxas⁷, mostra o quanto ela era importante para ele e, mais ainda, mostra-nos um pensador da modernidade que não foi conivente com essa brutal perseguição às mulheres, ao contrário de Thomas Hobbes ou Jean Bodin, advogado e teórico político francês, autor do primeiro tratado sobre inflação (Federici, 2017, p. 299-301). Kepler chegou a consultar longamente seu amigo Christoph Besold, professor de direito em Tübingen, leu todas as acusações do processo e redigiu pessoalmente a defesa que permitiu que Katarina fosse finalmente libertada. (Rublack, 2015, pp. 233-245) Do ponto de vista da questão que nos interessa aqui, o progresso científico, é relevante observar essa tomada de posição que hoje consideraríamos progressista em um sentido social.

6 “Na Europa da Era da Razão, eram colocadas focinheiras nas mulheres acusadas de serem desbocadas, como se fossem cães, e elas eram exibidas pelas ruas; as prostitutas eram açoitadas ou enjauladas e submetidas a simulações de afogamentos, ao passo que se instaurava a pena de morte para as mulheres condenadas por adultério.” (Federici, 2017, p. 203)

7 “A intervenção dos pescadores bascos contra a perseguição de suas parentes foi um acontecimento único. Nenhum outro grupo ou organização se levantou em defesa das bruxas. Sabemos, por outro lado, que alguns homens fizeram negócios voltados à denúncia de mulheres, designando-se a si mesmos como ‘caçadores de bruxas’, viajando de vilarejo em vilarejo ameaçando delatar as mulheres, a menos que elas pagassem.” (Federici, 2017, p. 340)

Para Kepler, o progresso científico com o qual ele próprio contribuiu faz parte de um processo mais amplo, que envolve todo o cosmos e todas as esferas da vida. Sua reinterpretação física (ou dinâmica) do copernicanismo foi fundamental para que o heliocentrismo se tornasse uma doutrina filosófica coerente. Tanto o caráter matemático de fenômenos terrestres (como os flocos de neve) quanto o caráter físico dos movimentos celestes, causados pela força solar na sua nova astronomia, permitiram a superação da dicotomia entre céu e terra que perdurara desde a Antiguidade clássica. Além deste feito monumental, Kepler também fez outras contribuições importantes na astronomia, na matemática e na óptica, e toda a sua obra é atravessada por um otimismo que relaciona as novas descobertas à descoberta de novos territórios: em 1604, suas descobertas ópticas são comparadas a “um novo mar”⁸ a ser navegado pela humanidade.

O Templo de Urânia

A colaboração entre Kepler e Tycho Brahe, é das mais frutíferas na história da ciência. Não fossem os dados extremamente precisos coletados por Tycho, especialmente aqueles relativos ao planeta Marte, Kepler nunca teria chegado às suas leis.⁹

Foi apenas com a publicação das *Tábuas Rudolfinas* por Kepler, em 1627, que o sistema copernicano se tornou superior ao ptolomaico no quesito precisão. Uma vez que Kepler reinterpretou os dados observacionais coletados por Tycho Brahe a partir da nova perspectiva heliocêntrica proporcionada pela reinterpretação do Sol como centro dinâmico do cosmos, em torno do qual os planetas descrevem órbitas elípticas, ele pôde construir uma tabela astronômica cinquenta vezes mais precisa do que as anteriores¹⁰.

O frontispício das *Tábuas Rudolfinas* traz uma figura detalhada encomendada por Kepler a seu amigo em Tubingen Wilhelm Schickard¹¹. O templo de Urânia sintetiza a visão de Kepler acerca do progresso da astronomia: o tradicional “edifício da ciência”, construído cumulativamente

8 Kepler, *Schriften zur Optik*, na dedicatória a Rudolfo II, *Apud*. Rublack, 2015, p. 11.

9 Tossato, 2004.

10 Gingerich, 2009, p. 1223.

11 *Ibid.*, p. 1231.

te através das eras. Sustentado por doze colunas (doze são os signos do zodíaco, e o dodecaedro ocupa a posição central no sistema de sólidos proposto por Kepler no *Mysterium cosmographicum* e retomado na *Harmonia do mundo*), das quais pode-se ver dez, o templo dedicado à musa da astronomia é construído sobre um piso onde se vê o céu estrelado, revelando que as observações do céu constituem o fundamento de todo o progresso dessa ciência - o que está de acordo com os argumentos tanto da *Astronomia nova* quanto da *Defesa de Tycho*.

Os astrônomos representados ao lado dos instrumentos de cada época e das colunas do templo, cada vez mais sofisticadas, transmitem a noção de uma ciência coletivamente desenvolvida através dos séculos e que avança em direção a sua perfeição. Este é o aspecto do templo de Urânia mais comumente explorado pela crítica, mas eu gostaria de ressaltar aqui o fato de que essa visão continuísta foi professada pelo protagonista daquela que é considerada a mais emblemática das revoluções científicas.



Figura 3. O Templo de Urânia.

(Fonte: Kepler, *Gesammelte Werke*, X, p. 1.)

O templo é coroado pela águia que representa o Sacro Império Romano e pela musa da astronomia, Urânia, cercada por seis figuras que não correspondem às musas da Antiguidade Clássica, nem tampouco às artes liberais que organizavam os currículos universitários da época. Da direita para a esquerda, são retratadas as novas musas *Magnetica*, *Stathmica*, *Doc-*

trina triangulorum, Logarithmica, Optica e Physica lucis et umbrarum. (Ragstetdt, 2013, pp. 637-638.) O painel no centro da base do templo mostra a ilha de Hven, onde ficava o observatório de Tycho Brahe, Uraniborg, também nomeado em homenagem à musa da astronomia.

O interior do templo é ocupado por um grupo de astrônomos que Kepler escolheu destacar. Logo de saída, chama a atenção a presença no fundo de um anônimo astrônomo babilônio. Dentre as colunas relacionadas a astrônomos que são nomeados, aquela mais simples, feita de madeira, é dedicada a Metão, contemporâneo de Sócrates e descobridor dos ciclos de 19 anos que relacionam os movimentos do Sol e da Lua e servem de base para a elaboração de calendários lunissolares. A coluna seguinte é dedicada a Arato de Solos (c. 310 - 240 a. C.), autor dos *Phaenomena*, que trazem uma versão em verso dos trabalhos perdidos de astronomia do grande matemático contemporâneo de Platão, Eudoxo de Cnido. As colunas mais à frente, em grau crescente de sofisticação, são atribuídas a Hiparco, Ptolomeu, Copérnico e Tycho Brahe. Em cada coluna também aparecem objetos e instrumentos astronômicos associados a cada astrônomo. O próprio Kepler é retratado na base, do lado esquerdo da ilha de Hven, exercendo seu trabalho teórico diante de uma mesa onde se vê pousado o domo do templo, sentado sob os títulos de suas principais obras: *Mysterium cosmographicum*, *Astronomiae pars optica*, *Commentarius Martis (Astronomia nova)* e *Tabulae Rudolphinae*. Do lado direito, vemos os herdeiros de Tycho Brahe. Tendo as colunas sido construídas pelos astrônomos que o precederam, o papel que o próprio Kepler se atribui é o de completar este templo ao construir seu teto circular, completando a construção iniciada milênios antes.

A concepção kepleriana de progresso, expressa de maneira sintética nessa figura, com as novas musas que representam novos campos de investigação científica como a óptica ou o magnetismo, onde não faltam problemas em aberto, aproxima-se, gostaria de defender ao final deste artigo, daquela dos últimos escritos de Thomas Kuhn. A realidade do sistema copernicano não pôde ser demonstrada sem o recurso a forças que agem à distância, a novas ferramentas matemáticas capazes de descrever variações contínuas e a uma nova concepção sobre a natureza do cosmos. Cada problema resolvido abre novos campos de investigação que antes não podiam sequer ser imaginados.

No *Mistério cosmográfico* (Kepler, 1992), sua primeira defesa do copernicanismo, publicada em 1597, Kepler escrevera que “(...) podemos dizer não sem fundamento que por isso há tanta variedade nas coisas e tantos tesouros escondidos na fábrica dos céus, para que jamais falte à mente humana alimento fresco, para que não desdenhe o [alimento] velho, nem descanse, mas disponha neste mundo de uma escola eterna para exercitar-se.” (Kepler, 1992, pp. 56-57.) A esta época, Kepler já havia percebido que o copernicanismo deixa em aberto uma série de novas questões quanto à física que rege o sistema, como o próprio conceito de movimento, a explicação da gravidade ou a causa dos percursos planetários serem aqueles que são observados, e não outros. Qualquer tentativa de resolver essas novas questões traz à tona novas dificuldades e abre novos campos de investigação, novos territórios a explorar.

Bibliografia

Kepler *Gesammelte Werke*, 1939-. Todos os pdfs das obras completas de Kepler, inclusive das cartas, efemérides e manuscritos, estão disponíveis em <https://kepler.badw.de/kepler-digital.html>.

“Defense of Tycho against Ursus”, texto latino, intr. e trad. N. Jardine, In: Jardine, N. *The birth of history and philosophy of science: Kepler’s “a defense of Tycho against Ursus”*, Cambridge University Press, 1984.

El secreto del universo, trad. Eloy Rada García, Madri: Alianza editorial, 1992. (1992-a)

New astronomy, trad. William H. Donahue, Cambridge: University Press, 1992. (1992-b)

Federici, S. *Calibã e a bruxa*, São Paulo: Ed. Elefante, 2017.

Gingerich, O. “Johannes Kepler and the Rudolphine Tables”, *Resonance*, 14, p. 1223-1234, 2009.



Quine, W. V. O, “Two dogmas of empiricism”, *The Philosophical Review*, 60, p. 20-43, 1951.

Ragstedt, M. “About the cover: Kepler and the Rudolphine tables”, *Bulletin of The American Mathematical Society*, Volume 50, Number 4, October 2013, Pages 629–639.

Rublack, U. *The astronomer and the witch*, Oxford: Oxford University Press, 2015.

Stephenson, B. *Kepler’s physical astronomy*, Nova York: Springer, 1987.

Tossato, C. “Discussão cosmológica e renovação metodológica na carta de 9 de dezembro de 1599 de Brahe a Kepler”, *Scientiae Studia*, 2 (4), 2004, p. 537-565.



Preservación de la memoria colectiva-científica, en la astronomía argentina, desde el Observatorio de La Plata

Natalia Soledad Meilán*

Yael Aidelman**

Lydia Cidale**

Roberto Gamen**

Mónica López*

Romina Peralta Pascual*

Resumen

Este trabajo describe el rescate y puesta en valor de varios de miles de placas espectrográficas del Observatorio de La Plata. Estas placas y sus documentos adjuntos, escritos de puño y letra, datan de principios del siglo XX, y contienen información de observaciones realizadas en diferentes observatorios del mundo. Debido a su fragilidad y al inevitable deterioro por el paso del tiempo, están siendo saneadas, recuperadas y digitalizadas. La información contenida en las placas tiene un alto valor científico. Asimismo, la comparación de un espectro antiguo con uno actual, permite reconstruir parte de la historia de la estrella. A través del proyecto ReTrOH no sólo se busca traducir el documento a un formato adecuado, preservar y difundir esos conocimientos, sino también recuperar el proyecto científico y el contexto histórico y personal de los observadores. Los espectros digitalizados se encuentran disponibles en el repositorio virtual (SEDICI) de la UNLP.

Palabras clave: *Digitalización; Placas; Espectros; NOVA; Espectrográficas; Fotográficas*

* Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAG), Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Argentina.

** Instituto de Astrofísica de La Plata (CONICET-UNLP)

Abstract

This work describes the rescue and enhancement of several thousand spectrophotometric plates from the La Plata Observatory. These plates and their attached handwritten documents, date from the beginning of the 20th century and contain information on observations made at different observatories around the world. Due to their fragility and the inevitable deterioration produced by the passage of time, they are being cleaned up, recovered and digitized. The information contained in the plates has a high scientific value and, based on a comparison of an old spectrum with a current one, part of the history of the star can be reconstructed. Through the ReTrOH project, we seek to translate the document into an appropriate format, preserve and disseminate that knowledge, and also recover the scientific project and the historical and personal context of the observers. The digitized spectra are available in the virtual repository (SEDICI) of the UNLP.

Keywords: *Digitization; plates; Spectral; NOVA; Spectrographic; Photographic*

Introducción:

El Observatorio de La Plata, incorporado actualmente a la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAG), de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), cuenta con un importante acervo patrimonial de placas fotográficas de eventos históricos y de diferentes objetos del cielo austral, como estrellas, planetas y cometas, que datan desde principios del siglo XX.

Las placas fotográficas cuentan una parte de la historia de la astronomía argentina. Ellas son testigos de las distintas campañas y misiones internacionales en las que participó nuestro país: la observación del tránsito de Venus (1882); las campañas de seguimiento de eclipses total de sol en pos de confirmar la Teoría General de la Relatividad (1914-1919), y de la relevancia de los proyectos y trabajos científicos desarrollados en la República Argentina (Paolantonio, 2021a; Paolantonio, 2021b; Paolantonio et al., 2019; Rieznik, 2013; Bernaola, 2004, entre otros).

El proyecto ReTroH¹ (REcuperación del TRabajo Observacional Histórico), nace en 2019, poco después de la Creación del Repositorio Científico de la FCAG (Res. N° 169/19) con el objetivo de rescatar, conservar, recuperar, digitalizar y poner en valor tanto las placas fotográficas como así también los demás datos científicos adquiridos en el Observatorio desde su fundación (el 22 de noviembre de 1883). Su origen fue motivado por la Resolución Nro. B3 “*Safeguarding the information in photographic plates*” emitida por la Unión Astronómica Internacional (IAU) del año 2000, donde se solicita a la comunidad astronómica que se tomen medidas para conservar los datos históricos y se realice la transferencia de datos analógicos a formatos digitales, y por la creación del Nuevo Observatorio Virtual Argentino (NOVA), en 2009.

Desde el año 2000, en distintas partes del mundo se ha comenzado con la labor de digitalización de placas fotográficas, por ejemplo: la colección de placas astronómicas de Harvard², del Observatorio Maria Mitchell³, o la colección de Placas Astronómicas Digitalizadas de Heidelberg⁴, por mencionar algunas. Particularmente en Argentina, por esos años, se comenzaron a digitalizar placas fotográficas creando el Primer archivo digital de placas fotográficas del Observatorio Astronómico de Córdoba (Calderón et al., 2004) en el cual se incluyen las placas pertenecientes al proyecto *Carte du Ciel*, entre otras.

Las Placas de Vidrio

Las placas de vidrio se comenzaron a utilizar a mediados del siglo XIX, manteniéndose vigentes hasta mediados del siglo XX. Las mismas se utilizaron como soporte para la fotografía. Si bien, a fines del siglo XIX comenzaron a surgir nuevos soportes, menos frágiles, pesados y voluminosos, el trabajo profesional en el ámbito de la astronomía continuó desarrollándose en placas de vidrio hasta la década de los '90 (siglo XX), ya que éstas presentaban gran estabilidad y un alto grado de resolución, ofreciendo una calidad superior, comparadas con el soporte en película.

1 <https://retroh.fcaglp.unlp.edu.ar>

2 <http://dasch.rc.fas.harvard.edu/project.php>

3 <https://www.mariamitchell.org/astronomical-plates-collection>

4 <https://dc.zah.uni-heidelberg.de/hdap>

La fotografía convencional fue finalmente desplazada y reemplazada rápidamente por la fotografía digital ante el surgimiento de los detectores CCD (dispositivos de carga acoplada).

La colección de placas espectrográficas del Observatorio de La Plata data de 1904. Estas fueron adquiridas en distintos observatorios del mundo, entre ellos podemos mencionar el Observatorio de La Plata (actual FCAG), la Estación Astrofísica de Bosque Alegre (Córdoba), el Observatorio Interamericano de Cerro Tololo (CTIO, Chile), el Observatorio de Mount Wilson (USA), entre otros. Sus tamaños son muy diversos: 4 x 6 cm, 7 x 2 cm, 8.80 x 0.4 cm, 10 x 2.6 cm, etc. El tamaño, en general, está definido por las dimensiones del porta placa o chasis del espectrógrafo, pero como las mismas eran cortadas por los observadores, sus medidas no son uniformes. En algunos casos, las placas están colocadas en un soporte de plástico o fueron pegadas sobre otro soporte de vidrio de mayor tamaño para facilitar su manipulación. Cada placa se encuentra protegida por un sobre de papel o cartón, como se muestra en la Figura 1.

Uno de los objetivos del proyecto ReTrOH es realizar una conservación preventiva del material. Gaël de Guichen (1995, 1999) define a este proceso como “el conjunto de las acciones destinadas a asegurar la salvaguarda (o a aumentar la esperanza de vida) de una colección o de un objeto”. En este contexto, se describen a continuación las tareas de rescate, saneamiento, digitalización y puesta en valor de la colección de placas que se hallan depositadas en el recinto que aloja al Microdensitómetro Grant, ubicado en el sótano de la Facultad. Además de realizar una conservación preventiva del material, se busca reunir información sobre los proyectos científicos, grupos de investigadores y observadores; recuperar la información científica contenida en las mismas; profundizar en la importancia de digitalizar registros de espectros en placas de vidrio y ofrecer el material a la comunidad a través de los repositorios del sistema nacional. Además, estos objetivos se ven motivados ante el hecho de que las mediciones realizadas con métodos modernos sobre las imágenes digitalizadas resultan más precisas que las utilizadas antiguamente (Davis et al., 2004).

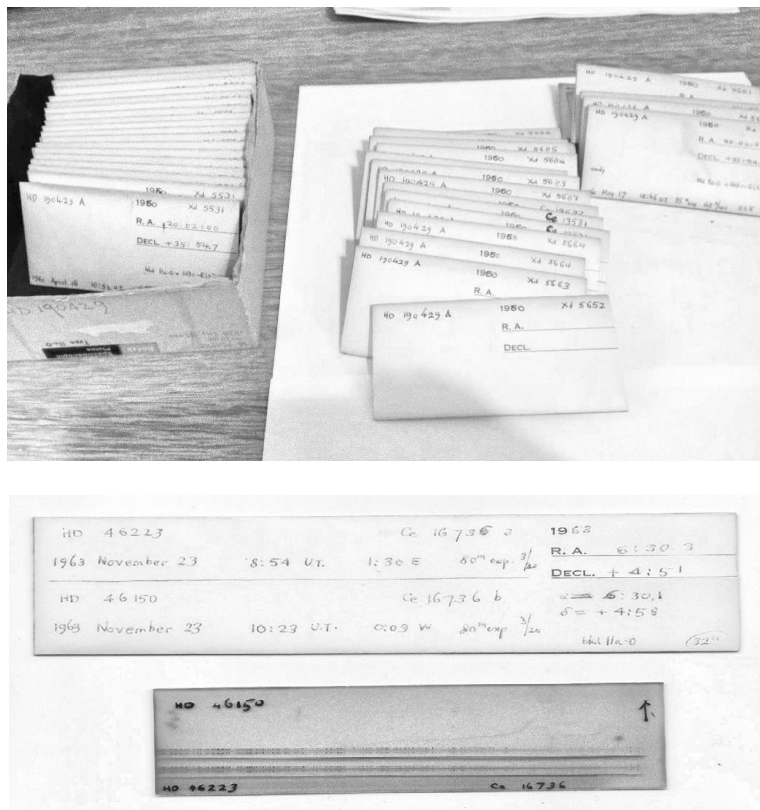


Figura 1. Arriba: sobre y placa de vidrio con el espectro de dos estrellas HD 16150 y HD 46223. También se observa el espectro de la lámpara de comparación. Abajo: caja y sobres que contienen a las placas de vidrio.

La FCAG tiene en formación un archivo histórico de espectros estelares registrados en placas de vidrio. Relevar, investigar, digitalizar, y así poner en valor, las placas de vidrio de investigaciones realizadas durante décadas por astrónomos y astrónomas de nuestro país, no solo tiene el valor intrínseco de documentar muchos descubrimientos realizados en La Plata, sino que tiene un valor agregado para futuros investigadores e historiadores de la ciencia, pues los espectros aportan información sobre: temperatura, gravedad, abundancias, componente radial de la velocidad,

rotación, etc. Los mismos se pueden considerar como el ADN de las personas, dejan rastros de la historia de sus objetos, preservan información importante o “descubrimientos latentes” que aún no han sido revelados.

Es interesante aquí enumerar importantes trabajos científicos que han surgido de estudiar y reanalizar la información contenida en placas de vidrio. Por ejemplo, utilizando datos de placas digitalizadas, almacenadas en la Universidad de Hamburger Sternwarte, Alemania, se detectaron variaciones de largo período en blazares (Wertz et al., 2017); en el Instituto Astronómico de la Academia de Ciencias de Uzbekistán se obtuvieron posiciones y magnitudes estelares (Muminov et al., 2017); en el Observatorio de Sonneberg, Alemania, se construyeron curvas de luz de estrellas T Tauri (Heines, 1999); con datos del Digital Access to a Sky Century @ Harvard (DASCH1), Walborn et al. (2017) descubrieron eventos eruptivos en la estrella Variable Luminosa Azul R71 ocurridos a comienzos del siglo pasado y nunca reportados.

En nuestro país, utilizando datos astrométricos derivados a partir de cuatro placas *Carte du Ciel* y una del Catálogo Astrográfico de la colección del Observatorio Astronómico de Córdoba, Orellana et al. (2010) detectaron un cúmulo abierto entre las estrellas de campo de la región de Collinder 132 y calcularon el movimiento propio medio y las probabilidades de pertenencia de las estrellas de la región.

Por otra parte, la información contenida en las placas tiene un alto valor científico ya que de la comparación de un espectro antiguo con uno actual, se puede reconstruir parte de la historia de la estrella.

Las placas de vidrio de espectros estelares del Observatorio de La Plata están siendo puestas en valor mediante un análisis interdisciplinar, por parte de astrónomas, astrónomos y museólogos, para así obtener información resultante de observaciones realizadas durante casi un siglo. Contextualizarlas históricamente, ponerlas en valor de forma integral, i.e. tanto la conservación física de las placas de vidrio como el conocimiento que en ellas se deposita, son la razón fundamental para su rescate, mediante su digitalización. El objetivo es que el acceso a esa información sea universal y que contribuya a la conservación preventiva del material original que da cuenta de algunas de las prácticas científicas de este Observatorio.

Metodología

Entendiendo la relevancia que conlleva recuperar la información que contienen estas placas de vidrio, y sus correlatos en documentos escritos, se procedió a realizar un estudio ambiental del depósito que las aloja. Se llevó a cabo, además, el rescate de un grupo de placas y documentos en papel asociados a las mismas, iniciando así su puesta en valor. Asimismo, se comenzó con las tareas de preservación preventiva, digitalización e inventario de cada placa, poniendo así dicho repositorio a disposición de la comunidad educativa y científica.

Estudio Ambiental y saneamiento

Los espacios físico-arquitectónicos que actualmente ocupa la colección de los datos espectroscópicos están ubicados en el subsuelo del edificio central de la FCAG, ala sudeste, en un recinto de 16 m², donde se encuentra alojado el microdensitómetro Grant (ver Figura 2).

En 2019, se procedió a realizar estudios ambientales del recinto y del estado del material depositado allí. El mismo estuvo a cargo de investigadores y docentes del Instituto Spegazzini (UNLP) y del Instituto Biológico-Entomológico de la Facultad de Ciencias Biológicas y Museo de La Plata, quienes emitieron un informe micológico y entomológico, brindando además recomendaciones de saneamiento. Participaron también profesionales del Centro de Estudios Parasitológicos y de Vectores (CIPAVE, UNLP-CONICET), emitiendo un diagnóstico de artrópodos plaga (el cuál reveló la presencia de una gran cantidad de arañas de tipo *loxosceles laeta*, altamente venenosas).

Estos estudios se llevaron a cabo con la finalidad de realizar un saneamiento ambiental adecuado para un rescate óptimo de las placas y documentos asociados, así como para la seguridad de los profesionales que realizan dicha tarea.

Se prevé un plan de saneamiento del recinto del sótano, actividad que fue pospuesta por la situación de pandemia durante los años 2020 y 2021.

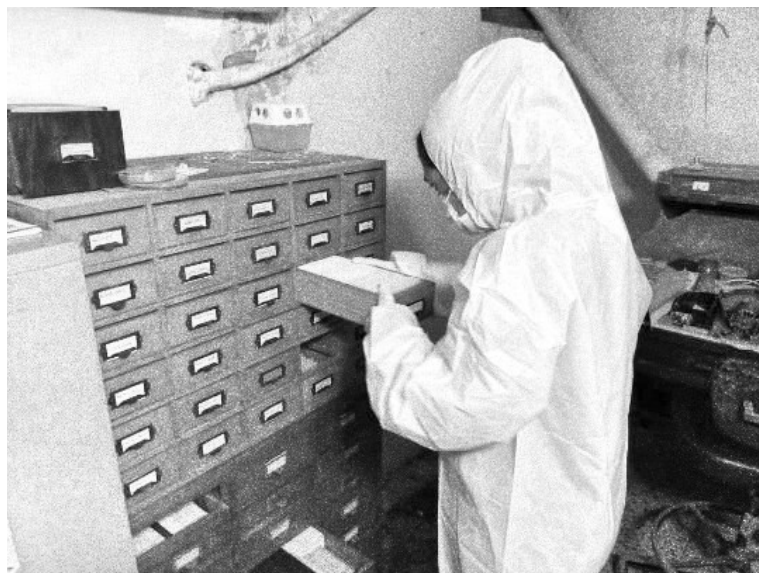


Figura 2. Estudios ambientales del recinto Grant y de la muestra.

Rescate y conservación preventiva

Las placas a recuperar son trasladadas a un nuevo espacio físico, un espacio apartado del ambiente general de trabajo: el taller de conservación o la oficina, y son puestas en cuarentena. Este nuevo ambiente es algo más propicio que el del subsuelo, donde los niveles de humedad y las colonias de hongos son altas.

Quienes desempeñan esa tarea usan indumentaria adecuada: enterito protector y/o delantal, antiparras, barbijo y guantes de látex. La finalidad de todo este proceso es evitar contaminar y contaminarnos, haciendo de la asepsia un principio básico de la conservación preventiva.

Estas placas se encuentran en cajas con denominaciones hechas de puño y letra de las astrónomas y astrónomos que llevaron a cabo las observaciones.

El equipo interdisciplinario del grupo ReTrOH ha consensuado en respetar el orden en que el material fue hallado, conservar la nomenclatura y la secuencia en que se encuentran en dichas cajas. Por lo tanto, esta es la forma en que se organizará el archivo, respetando su origen.



Figura 3. Tareas de limpieza y saneamiento.

Los pasos realizados para el procedimiento de rescate y preservación preventiva fueron:

- 1) Retirar las placas de la caja original (se fue haciendo caja por caja);
- 2) Realizar una limpieza mecánica y manual. Las placas fueron extraídas una por una de su sobre contenedor y se procedió a la limpieza del sobre con pinceleta suave, dejándolo libre del polvo. Las huellas de hongos causadas por la humedad ambiental sufrida durante todos estos años no han podido removerse por completo, pero se hallan inactivadas luego de un período de cuarentena. El cambio de ambiente y la estabilización gradual de la humedad ocurridos durante la fase de cuarentena, evita así un resecaimiento brusco que pudiera resquebrajar los sobres que son material histórico, como así también las placas, ya que son un documento que da cuenta de cómo se trabajaba en otras épocas;
- 3) Las placas también son pinceladas suavemente sobre un campo de cartulina libre de ácido o tela de algodón neutro, sólo del lado opuesto a la emulsión, dado que en ella está grabada la imagen y, en la instancia actual del proyecto, aún no fue intervenida. Sólo se estabiliza, como en el caso de los sobres, durante la cuarentena, evitando la proliferación de hongos, que ya no accionan al haber pasado por tramos de deshumidificación mecánica;
- 4) Una vez concretada la limpieza de ambas piezas, la placa vuelve al sobre y ambos son guardados en la caja original, que también se limpia de tierra, desechos varios como ganchos metálicos, restos de banditas elásticas resacas que son un elemento con compuesto orgánico con un alto grado de deterioro y que compromete el estado de las piezas que se encuentran asociadas.

Una vez llevadas las placas fuera de espacios de subsuelo, los arácnidos no proliferan y son controlados con desinfecciones periódicas.

Digitalización

Otra etapa importante para la conservación preventiva y recuperación de la información impresa en la emulsión de las placas fotográficas, sin poner en peligro su integridad, es la digitalización, tanto de las placas propiamente dichas como así también de sus sobres contenedores y los documentos adjuntos correspondientes (como cuadernos con anotaciones y planillas de observación). De este modo es posible la conservación científica-astronómica, preservando los datos precisos que estas placas tienen, como así también la museológica-histórica, dado que los sobres, las placas y los documentos adjuntos dan información sobre la forma de archivar y racionalizar los contenedores de datos científicos de la época y dan cuenta de la contextualización témporo-histórica de esta colección.

La posibilidad de disponer de los datos históricos en formato digital permite, no sólo comparar dichas observaciones con las actuales, para detectar variaciones de intensidad y en velocidad radial de las diversas fuentes astronómicas observadas durante varias décadas, sino también para analizar dichas observaciones con herramientas y códigos modernos. Para este fin, es necesario, entonces, digitalizar, procesar y convertir las placas a un formato estándar actual, como por ejemplo el formato FITS.

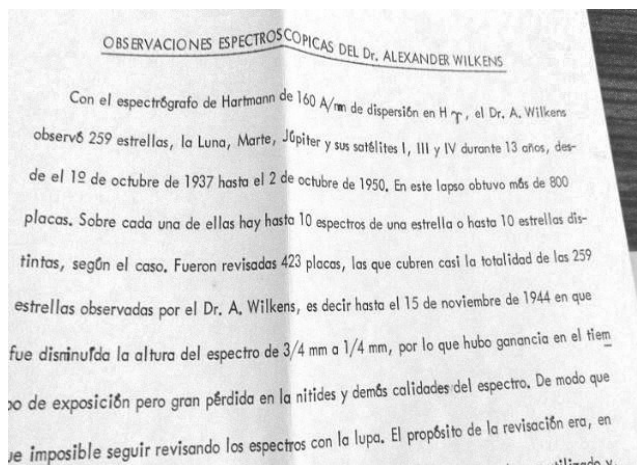
El primer paso del proceso de digitalización consiste en el escaneo de las placas espectrográficas. De este modo, se transforman las placas analógicas en archivos de imagen en formato TIFF. Esta tarea se está llevando a cabo utilizando un escáner Nikon 9000ED (optimizado para placas fotográficas espectrales), proporcionado por el Observatorio Virtual Argentino (NOVA, CONICET), empleando una resolución de 4000 dpi. Luego, utilizando un software escrito en lenguaje PYTHON⁵, estos datos son transformados al formato FITS. El código también permite incorporar al "header" (encabezado de la imagen) información referente al objeto observado, al instrumental y configuración utilizados, y al Observatorio desde el cuál se adquirió el espectro. Paralelamente, empleando un escáner de documentos se procede a la digitalización del sobre que contiene a la placa.

5 Este software fue desarrollado por integrantes del grupo ReTrOH y mejorado recientemente por colaboradores de la Facultad de Informática de la UNLP.

Esta tarea comenzó en el año 2019 pero se vió interrumpida por la pandemia, así que en la actualidad sólo contamos con unas 200 placas digitalizadas. Los archivos FITS se suben a un repositorio virtual (SEDICI⁶, UNLP) otorgándole un acceso universal que completa la puesta en valor y la conservación preventiva de estos documentos, ubicándolos en el campo del acceso público, siendo estos documentos históricos pertenecientes al ámbito de lo público por origen. La consulta digital posibilita esta conservación preventiva ampliando horizontes y evitando la manipulación de tan valiosas y frágiles piezas científicas.

Durante esta etapa se realizó un diagnóstico preliminar del estado de conservación de cada una de las placas para poder hacer el análisis cuantitativo que se verá más adelante. También se fue realizando el Inventario Somero.

Actualmente, también se están realizando las tareas de prevención y saneamiento de los cuadernos de observación. Una vez recuperados y digitalizados los mismos serán incorporados al SEDICI.



⁶ http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/74499/discover?sort_by=dc.date.accessioned_dt&order=desc



Figura 4. Observaciones espectroscópicas realizadas por el Dr. Alexander Wilkens e informe correspondiente emitido por el Sr. Boris Kucwicz en 1964.

Verificación de la calidad de los datos

La verificación de la calidad de los espectros digitalizados se realizó empleando las observaciones de la estrella HD 50845 (Meilán, 2018). Los espectros originales en soporte de vidrio fueron adquiridos en 1984 por los Dres. Jorge Sahade y Adela Ringuelet en el CTIO (Chile) utilizando un espectrógrafo Coudé y publicados por Sahade & Ringuelet (1985) y Sahade et al. (1987). Meilán (2018), en su trabajo de tesis de licenciatura, desarrolló un método adecuado para digitalizar estos espectros transformándolos a archivos en formato FITS. Luego, realizó la extracción y la calibración en longitud de onda. Finalmente, analizó los espectros digitalizados empleando herramientas actuales como las tareas del código IRAF (*Image Reduction and Analysis Facility*, desarrollado por *the National Optical Astronomy Observatory*, NOAO). Los resultados obtenidos referentes a velocidad radial medida y el tipo espectral de la estrella fueron comparados con los publicados en el trabajo original. El excelente acuerdo encontrado permitió validar el procedimiento de digitalización y reducción empleados (para más detalles ver Meilán, 2018, y Meilán et al., 2020).

Conclusiones

Poner en valor esta importante colección de datos astronómicos y hacerla accesible de forma universal, es necesario para seguir construyendo esta parte de la historia y la memoria colectiva y científica de nuestro país, como así también de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata.

Relevar, analizar, digitalizar y poner en valor las placas espectrográficas, en las cuales los investigadores han plasmado y documentado diferentes fenómenos celestes durante décadas, es nuestra responsabilidad. Heredamos un valioso patrimonio, el cual puede utilizarse en futuras investigaciones tanto científicas, ya que en las placas hay descubrimientos latentes, como para quienes se dedican a la historia de las ciencias.

A futuro, el proyecto ReTroH tiene un objetivo más amplio, como ser la recuperación de las placas astrométricas, y la recuperación de material histórico científico del área de geofísica y meteorología. Parte de esta tarea será en forma fotográfica, empleando máquinas réflex y una lente aplanadora de campo.

Agradecimientos

Agradecemos al árbitro por sus sugerencias y comentarios. Este proyecto ha recibido financiación en el marco del Proyecto de Digitalización y Recuperación del Archivo de Placas Espectroscópicas de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (PID 11/G167).

Bibliografía

Bernaola, O. A. (2004). Enrique Gaviola and the Astronomical Observatory of Córdoba. *Ap&SS*, 290, 457–461. doi:10.1023/B:AS-TR.0000032544.15265.08

De Guichen, G. (1995). La Conservación Preventiva: un cambio profundo de mentalidad. In: *Cahiers D'étude, ICOM-CC, N° 1*, pp 4-6.

De Guichen, G. (1999). La Conservación Preventiva: ¿simple moda pasajera o cambio trascendental? In

- Museum internacional, LI, 1, p. 4-6. url: <http://unesdoc.unesco.org/images/0011/001149/114933so.pdf>
- Calderón J. H., Bustos Fierro I. H., Melia R., Willimoës C. & Giuppone, C. (2004). The Digital Archive of the Photographic Images of the Córdoba Observatory Plates Collections. *Ap&SS*, 290, 345–351. doi:10.1023/B:ASTR.0000032547.59015.7b
- Davis A., Barkume K., Springob C., Tam F., & Strel'nitski, V. (2004). Stellar Photometry Using Old Photographic Plates. *JAAVSO*, 32, 117–125. Retrieved from <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2004JAVSO..32..117D>
- Heines A. (1999, January). Longterm Variability - First Results from Digitised Photographic Plates. *Proceedings of the Optical and Infrared Spectroscopy of Circumstellar Matter*, 188, 171–174. Retrieved from <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1999ASPC..188..171H>
- Meilán, N., Collazo, S., Alessandroni, M. R., López Durso, M., Peralta, R. A., Aidelman, Y., Cidale, L. S. & Gamen, R. (2020). Proyecto de digitalización de placas espectrográficas del Observatorio de La Plata. *BAAA*, 61B, 251–253. Retrieved from <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020BAAA...61B.251M>
- Meilán, N. (2018). Recuperación del patrimonio observacional histórico. *Elaboración de un método óptimo de digitalización y extracción de datos* (tesis de licenciatura). Retrieved from <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/74678>
- Muminov M., Yuldoshev Q., Ehgamberdiev S., et al. (2017). Astrometry of the η and χ Persei clusters based on the processing of digitized photographic plates. *Bulgarian Astronomical Journal*, 26, 3.
- Orellana R. B., de Biasi M. S., Bustos Fierro I. H. & Calderón J. H. (2010). A revisit to the region of Collinder 132 using Carte du Ciel and Astrophotographic Catalogue plates. *A&A*, 521, A39. doi:10.1051/0004-6361/200913741

- Paolantonio, S. (2021a). Eclipses de Sol observados en la República Argentina: período 1810–1950. *BAAA*, 62, 304–306. Retrieved from <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2021BAAA...62..304P>
- Paolantonio, S. (2021b). Observaciones astronómicas en la República Argentina antes del Observatorio Nacional. *BAAA*, 62, 298–300. Retrieved from <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2021BAAA...62..298P>
- Paolantonio S., Pelliza L., Mallamaci C. C., Camino N., Orellana M. & García B. (2019). The Argentinean attempts to prove the Theory of General Relativity: the total solar eclipses of 1912, 1914 and 1919. *Proceedings of the Under One Sky: The IAU Centenary Symposium 349*, 516–519. doi:10.1017/S174392131900070X
- Rieznik, M. (2013). The Córdoba Observatory and the History of the ‘Personal Equation’ (1871–1886). *Journal for the History of Astronomy*, 44, 277–302. doi:10.1177/002182861304400303
- Sahade J. & Ringuelet A. E. (1985). A New Shell Star: HD 50845. *IBVS*, 2710, 1. Retrieved from <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1985IBVS.2710....1S>
- Sahade J., Ringuelet A. E. & Rotstein, N. (1987). Variations in the envelope of the shell star HD 50845. *PASP*, 99, 971–974. doi: 10.1086/132064
- Walborn N. R., Gamen R. C., Morrell N. I., et al. (2017). Active Luminous Blue Variables in the Large Magellanic Cloud. *AJ*, 154, 15–41. doi: 10.3847/1538-3881/aa6195
- Wertz M., Horns D., Groote D., et al. (2017). Hamburger Sternwarte plate archives: Historic long-term variability study of active galaxies based on digitized photographic plates. *Astronomische Nachrichten*, 338, 103–110. doi: 10.1002/asna.201613201



Aportes del Museo del Observatorio Astronómico a las Ciencias

David C. Merlo^{*,**,***}

Verónica Lencinas^{*, †, ‡}

Santiago Paolantonio^{**,***}

Sofía Lacolla[‡]

Resumen

El desarrollo científico nos propone múltiples desafíos a la hora de llevar adelante aportes significativos y relevantes. Con el afán del progreso continuo, se va dejando huellas que luego seguirán nuevas generaciones, rastros que merecen ser visibilizados y contextualizados. Se podrá decir que el pasado solo sirve como plataforma de respaldo para las actuales acciones en ciencia. Pero ¿cómo podremos estar seguros de caminar sobre un terreno si la propia comunidad desconoce la manera en que el mismo fue construido y forjado?

Partimos de presuponer que la Historia de las Ciencias nos permite recuperar esos primeros pasos y que su (re)conocimiento, permite a la sociedad tanto su culturalización científica como valorarlos debidamente.

En esta presentación resumimos el proceso llevado adelante por el Museo del Observatorio Astronómico, recuperando sus principales contribuciones al despertar científico de nuestra nación, mediante la concreción de una serie de eventos que contó con la importante participación del público, lo que permitió ratificar el marcado interés de la comunidad en conocer mejor el devenir histórico de sus científicos/as y las actividades que actualmente desarrollan.

Palabras clave: *comunicación pública de las ciencias, historia de la astronomía, museo.*

* Observatorio Astronómico, UNC.

** Museo del Observatorio Astronómico, OAC, UNC.

*** Coordinación Nacional de Educación en Astronomía, AAA & IAU.

‡ Biblioteca “Dr. Roberto F. Sisteró”, OAC, UNC.

‡‡ Facultad de Filosofía y Humanidades, UNC.

Abstract

Scientific development offers multiple challenges when carrying out significant and relevant contributions. In order for continuous progress, traces are left that will later be followed by new generations, traces that deserve to be made visible and contextualized. It could be said that the past only serves as a support platform for current actions in science. But, how can we be sure of walking on a piece of land if the community itself does not know how it was built and forged?

We assume that the History of Sciences allows us to recover those first steps and that their knowledge allows the society both its scientific culturalization and duly assessing them.

In this presentation we summarize the process carried out by the Museo del Observatorio Astronómico, recovering its main contributions to the scientific awakening of our nation, organizing events with important participation of the public, which allowed ratifying the marked interest of the community in knowing better the historical evolution of its scientists and its current activities.

Keywords: *public communication of science, history of astronomy, museum.*

1. Introducción

Con el inicio del nuevo milenio se ha revalorizado y se viene trabajando con bastante tesón el tema de la “comunicación pública de las ciencias”. Al respecto, López & Luján (2002) establecieron cuatro ejes principales donde esta actividad debería focalizarse amalgamada con la participación ciudadana: 1) la comprensión de las ciencias, 2) brindar nuevas visiones de la misma, 3) favorecer la creación de la construcción de la opinión pública, 4) sin dejar de lado la consideración de sus riesgos. Por su parte, Osorio (2005) agrega que debería contribuir tanto al acceso democrático de la ciencia y tecnología, como también a resolver las necesidades de la población.

Sin embargo, fue en 1984 cuando se inicia en nuestro país el interés por parte de las instituciones oficiales, con la aparición del Programa de Divulgación Científica y Técnica (Fundación Campomar), creando áreas de comunicación en los organismos públicos de investigación y cursos

de periodismo científico (Cortassa & Rossen, 2019). Posteriormente, en 1992 aparecieron réplicas en la UBA y en otras Universidades del país, como así también los primeros cursos de periodismo científico. La crisis del país también hizo mella en este incipiente desarrollo, siendo a partir de 2003 cuando se inicia un lento periodo de recuperación de la divulgación científica, surgiendo un renovado interés de las políticas públicas en el sistema científico-tecnológico, acompañado con la creación en 2006 de la Agencia Científica de Noticias, dándose un fuerte impulso a las iniciativas de comunicación científica por parte de los Ministerios de Ciencias (2007), la creación del Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (2012-2015) y el Programa Nacional de Popularización de la Ciencia y la Innovación (2013) (Cortassa & Rossen, 2019). En este contexto, surge en 2014 dentro del ámbito de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC) su propia agencia de comunicación de las ciencias, llamada UNCIENCIA.

¿En qué contexto los museos de ciencias participan de este movimiento? Recordando la definición actual¹ de la ICOM², la cual establece que un

(...) museo es una institución sin fines lucrativos, permanente, al servicio de la sociedad y de su desarrollo, abierta al público, que adquiere, conserva, investiga, comunica y expone el patrimonio material e inmaterial de la humanidad y su medio ambiente con fines de educación, estudio y recreo (ICOM, 2007),

donde se resalta a la comunicación como la principal acción pública que debemos concretar para visibilizar todo el valioso patrimonio (científico, en nuestro caso), tanto el tangible como el intangible.

En este sentido, y bajo los nuevos preceptos que el siglo actual ha rediseñado para los Museos, estos se encuentran incluidos en diferentes ámbitos de enseñanza formal e informal, sus universos abarcan todas las

1 Se tiene previsto redefinirla en la 26ª Conferencia General de ICOM a desarrollarse en Praga en los últimos días de agosto de 2022.

2 *International Council of Museums*; única organización de museos y profesionales de los mismos con alcance mundial dedicada a la promoción y protección del patrimonio cultural y natural, presente y futuro, material e inmaterial. Creada en 1946, dispone de aproximadamente 35.000 miembros en 136 países, constituye una red que actúa en una amplia variedad de disciplinas relacionadas con el patrimonio y los museos.

disciplinas, trabajan sobre la cultura material y el patrimonio intangible, son excelentes escenarios de proyectos de aprendizaje, sensibilizan y emocionan, testimonian y nos hacen reflexionar, siendo también comunicadores de Ciencia y Tecnología (C&T). En definitiva, representan espacios que permite desarrollar una amplia gama de contenidos, tanto desde las llamadas “ciencias duras” hasta las Humanidades, facilitando la aplicación para ello de técnicas, metodologías y competencias complejas

Circunscribiéndonos a los Museos de C&T, a lo largo del tiempo estos también han ido (consecuentemente) evolucionando. Así podemos distinguir distintas generaciones³ que se inician con los primeros “museos templos” donde se realizaban estudios académicos y exposiciones centradas en objetos, todos ellos limitados a un público selecto y experto en las ciencias involucradas o invitados. Luego, una segunda generación surge con la apertura de los mismos a todo el público con una incipiente tendencia a la interacción con los bienes presentados. Con el desarrollo de las teorías constructivistas en la segunda mitad del siglo XX, los museos tendieron a involucrarse con la misma centrándose más en los visitantes y sus aprendizajes. Asimismo, la revolución digital los alcanzó también, y así surge el paradigma de los “museos sin paredes”, en donde la experiencia museística inicia antes y continúa después de la visita a través de diferentes medios digitales. Desde este punto de vista, en los últimos años se viene poniendo énfasis también en los museos una concepción educativa integradora llamada STEAM⁴, en la cual se aplican enfoques que fomenten el interés de los estudiantes en ciencia, tecnología, ingeniería, artes y matemáticas a medida que desarrolla una variedad de habilidades importantes, en donde la presencialidad y la virtualidad van de la mano, dando respuestas a las necesidades de la comunidad a través de proyectos activos, dinámicos, híbridos y hápticos.

El plan estratégico 2020-2030, establecido por la IAU⁵ en la Asamblea General de 2015, se destacaron ocho objetivos, uno de los cuales se resalta el compromiso de todos sus miembros y colaboradores con el público, en

3 <https://evemuseografia.com/2018/01/30/el-museo-4-0-steam/>

4 Acrónimo en inglés de *Science, Technology, Education, Arts and Mathematics*.

5 La *International Astronomical Union* es una organización que reúne a más de 12.000 astrónomos/os de 104 países, la cual tiene como principal misión promover y salvaguardar a la ciencia astronómica en todos sus aspectos (investigación, comunicación, educación y desarrollo).

el cual claramente la acción comunicativa es fundamental, creándose para ello la *Office for Astronomy Outreach*.

Pedersoli (2003) rescata los valiosos aportes realizados por Kuhn (1992), los cuales permiten reorganizar museográficamente a los museos de ciencias interactivos, los cuales presentamos como hipótesis de este trabajo:

- criterio epistemológico no jerarquizados en la organización museográfica;
- ciencia presentada como un proceso activo y de permanente construcción cognitiva;
- imagen de comunidades científicas no sacralizadas sino “humanas”; y
- promover una mirada crítica de la C&T donde los contenidos científicos no se encuentren desconectados de sus implicancias históricas, políticas, económicas y sociales.

2. Museos de Observatorios Argentinos

Nuestro país tiene siglo y medio de historia astronómica institucionalizada⁶, contando en la actualidad con cuatro Observatorios de envergadura: Córdoba (1871; OAC-UNC), La Plata (1883; OALP-UNLP), Félix Aguilar (1960; Oafa-UNSJ) y CASLEO (1983; CONICET-UNLP-UNC-UNSJ). De ellos, los tres primeros disponen de Museos: el Museo de Astronomía y Geofísica⁷, fundado en 1997 y que funciona en la sede central del OALP; el Museo Astronómico “Reinaldo Carestia”⁸, fundado en 1998 y situado

6 Se pueden destacar los aportes previos del jesuita Buenaventura Suárez en las misiones del NE del entonces Virreinato del Río de la Plata (s. XVIII) y las observaciones de eclipses lunares, cometas y tránsitos de Mercurio, como también estudios de materiales meteóricos, en la primera mitad del S. XIX, realizadas por Vicente López y Planes, Octavio Mossotti y Manuel Moreno. Pero todos ellos correspondieron a aportes individuales o mediante contrato temporarios.

7 <http://museo.fcaglp.unlp.edu.ar/>

8 <http://www.oafa.fcfn.unsj-cuim.edu.ar/OafaNew/Museo/MuseoAstronomico.htm>

en el edificio central del Oafa, y el Museo del Observatorio Astronómico⁹, creado en 2003 y que se encuentra en el edificio principal del OAC.

Luego de varios encuentros virtuales entre estos tres museos (por la pandemia), quedó conformada en agosto de 2021 la Red de Museos de Observatorios Astronómicos Argentinos (RedMOAA), la cual tiene como objetivos prioritarios: a) la promoción de actividades museísticas astronómicas y anexas, b) la formación de personal especializado, c) la colaboración mutua para la concientización, puesta en valor y resguardo del patrimonio museológico, d) la creación de un sitio web para difundir las actividades de difusión y enseñanza de las ciencias, e) la elaboración de un registro nacional del patrimonio astronómico material e inmaterial, como así también f) la investigación y publicación en medios especializado de las producciones realizadas, vinculadas a los elementos patrimoniales resguardados.

3. El museo del Observatorio Astronómico

3.1 Contexto universitario local

En el año 1613, bajo la órbita del jesuita Obispo Juan Trejo y Sanabria, se inician los estudios superiores en el Colegio Máximo de Córdoba, donde sus alumnos (generalmente religiosos de la orden) recibían formación en Filosofía y Teología. En 1621, el Papa Gregorio XV (ratificado por el rey Fernando IV en 1622) le confirió la autorización de otorgar título de grado, y en abril de 1622 quedó oficialmente inaugurada la “*Universitas Cordubensis Tucumanae*”¹⁰.

Pero fue recién entre los años 1860 a 1880 que se impulsó la conformación intencional de colecciones, siguiendo las ideas que se estaban desarrollando en el mundo, las cuales eran esencialmente “humboldtianas”, centradas en lo disciplinar y, por lo tanto, reflejaban los valores intelectuales, sociales y culturales de la época¹¹, donde los museos estaban

9 <https://moa.unc.edu.ar/>

10 <https://www.unc.edu.ar/sobre-la-unc/or%C3%ADgenes>

11 Se debe tener en cuenta que, por aquellos años, ya se habían establecido en Córdoba la Academia Nacional de Ciencias (1869), el Observatorio Nacional Argentino (1871) (hoy OAC) y la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales (1876).

destinados exclusivamente al aprendizaje disciplinar y del proceso de investigación. Esta etapa se la suele considerar como la primera generación de los museos de la UNC (Bonín, 2012).

En la última década del siglo XX comienzan a surgir espacios museográficos que comenzaron a rescatar la cultura material universitaria, es decir, nacen los museos históricos. Esta segunda generación de museos universitarios quedó fuertemente consolidada en el año 2000 con la Declaratoria de Patrimonio de la Humanidad de la Manzana Jesuítica por parte de la UNESCO (Bonín, 2012).

En este marco, se crea en 2003 el Museo del Observatorio Astronómico “Presidente Sarmiento–Dr. Benjamín Gould”, también conocido como Museo del Observatorio Astronómico (MOA).

Finalmente, otro hito relevante que merece destacarse es la creación en 2008 del Programa de Museos de la Universidad Nacional de Córdoba (PROMU¹²), con el objetivo de diseñar políticas y *líneas de trabajo*, promoviendo el desarrollo y la actualización de sus museos en forma integral y colaborativa, desarrollando las áreas de preservación de sus colecciones, la investigación, la exhibición de su patrimonio, y la realización de acciones educativas no formales. Asimismo, atendiendo a su política de mayor inclusión y para la democratización del conocimiento, el PROMU promueve acciones para toda la comunidad con el objetivo de genera en los museos espacios de intercambio y aprendizajes.

3.2 Museo Presidente Sarmiento–Dr. Benjamin Gould

Actualmente, el MOA presenta como acervo patrimonial material: a) bienes inmuebles (sede central, la Estación Astrofísica de Bosque Alegre (EABA), las “casas de los astrónomos”, hitos históricos y restos de construcciones antiguas), como también b) instrumentos (telescopios, relojes, máquinas de calcular, etc.), c) documentación en soporte papel (primeros cuadernos de observación, hojas de registro de observaciones, correspondencia, manuscritos originales, comprobantes de pagos, manuales de instrumentos, planos, libros, etc.), d) materiales fotográficos (“*Carte du Ciel*” (CdC), Catálogo Astrográfico, Placas de Perrine, de cometas, asteroides, “sociales”, etc.) resguardados por la Biblioteca “Dr. Sisteró” del OAC, e)

12 <https://promu.unc.edu.ar/>

documentos filmicos (eclipses, etc.), y f) documentos en soporte informático (tarjetas, planillas de programas, cintas, discos, etc.).

También resguarda su historia escrita y se viene trabajando para lograr recopilar la valiosa historia oral que ha forjado la institución.

Asimismo, merece destacarse: a) el patrimonio que se encuentra fuera de la Institución, como las placas y escritos originales de las “Fotografías Cordobesas” (actualmente en el *Harvard College Observatory*), b) las placas realizadas en la EABA para la búsqueda de enanas blancas (Universidad de Chicago), c) el Círculo Meridiano “Nuevo” (OAFa), como así también d) documentación de interés tales como la relacionada con la construcción del telescopio y cúpula de la EABA (*Kelvin Smith Library*), fotografías y documentos del Dr. Benjamin Gould (*Massachusetts Historical Society* y otros), fotografías y documentos del Dr. Charles Perrine (*Mary Lea Shane Archives of the Lick Observatory* y otros), documentos del Dr. Enrique Gaviola (Biblioteca Leo Falicov, Centro Atómico Bariloche), fotografías y planos (Centro de Documentación e Investigación de la Arquitectura Pública).

No debemos dejar de considerar tampoco el patrimonio con ubicación desconocida. Entre ellos se puede mencionar: a) la montura Alvan Clark original del telescopio “Gran Ecuatorial” (1870), b) tres sistemas de relojería realizados en el ONA y utilizados para los primeros intentos de verificación de la Teoría de la Relatividad (1912), c) la montura de la astrocámara Hans Heele (1910), d) el cronógrafo Bond & Son (1870) y H. Wetzler (1920), y e) la correspondencia entre los años 1885 a 1908.

4. Actividades desarrolladas por el MOA

Los museos -como son pensados en la actualidad- distan mucho de aquella antigua concepción de guarda y exhibición. Por el contrario, no solo deben adaptarse a su contexto, involucrando al público en los temas relevantes emergentes de la misma (Welsh, 2005), sino que también les corresponden estar atentos (y por qué no también ser parte) de los cambios que se producen, últimamente más acelerados y revolucionarios, ya que estas instituciones son susceptibles a ellos (Hooper-Greenhill, 2007).

Desde su misma fundación, el MOA viene desarrollando una serie de actividades, tanto en aspectos de recuperación y revalorización histórica, como de comunicación pública de las ciencias, y también de capacitación en los nuevos paradigmas museológicos que, como comentamos antes,

caracterizan los nuevos tiempos. A continuación, resumiremos algunos de ellos.

4.1 Recuperación y revalorización histórica

Una de las actividades permanentes de nuestro Museo es la recuperación y puesta en valor del acervo histórico del OAC. Esta tarea se viene realizando incluso desde etapas previas a la constitución del Museo. El siglo y medio de existencia de la Institución ha dejado como legado abundante material científico-tecnológico y documental, mucho de los cuales no se encontraban en óptimas condiciones de preservación. En este sentido, se ha estado trabajando y actualmente estamos ofreciendo una serie de instrumentos ópticos, meteorológicos, fotográficos y documental donde se reflejan parte de la historia del ONA y del OAC. Aquí el aporte del personal de la Biblioteca Dr. Roberto Sisteró, como así también personal especializado para tal fin, ha sido gravitante.

También se dispone de una sala de preservación de placas fotográficas, tomadas tanto en la sede central como en la EABA, que ha exigido el aprendizaje de las técnicas más modernas que permite salvaguardar todo este valioso material.

Asimismo, la limpieza, salvaguarda y clasificación del material para futuras intervenciones se ha tornado vital en esta empresa, disponiéndose para ello de la colaboración de voluntarias/os, tanto de la Institución como de becarias/os y personal designado para tal fin. Merece comentarse la intervención realizada en el parque del OAC, emplazando la montura original del llamado Telescopio Perrine, primer telescopio de envergadura construido íntegramente en nuestro país. Si bien su óptica fue modernizada en la década del '70 para su posterior emplazamiento en el Oafa, el mismo retornó en 2010 a la Institución, y actualmente se encuentra instalada en Bosque Alegre. No obstante, se ha recuperado la montura original y es la que se encuentra exhibida en el parque.

Se ha recibido aportes de especialistas en preservación de material histórico, tanto técnico-profesional realizando tareas de identificación y limpieza de elementos orgánicos que actualmente afectan a la documentación

histórica del MOA¹³, como también tareas de inventariado, catalogación histórica y puesta en valor del material disponible y todavía no exhibido del Museo.

También se contó con la colaboración de la Cátedra de Preservación y Conservación de Documentos de la Escuela de Archivología de la Facultad de Filosofía y Humanidades (FFyH) de la UNC, en donde los/as estudiantes realizaron experiencias prácticas a través de la observación del edificio, de la ubicación e instalación de los documentos, así como de las rutinas que se realizan en relación a la conservación de los materiales documentales en custodia. También se realizaron actividades de limpieza sobre documentos afectados por plaga biológica.

Asimismo, contamos también con la colaboración de la Cátedra de Entomología del Centro de Investigaciones Entomológicas de Córdoba, realizándose tomas de materiales biológicos en los depósitos del MOA, su posterior análisis y alertando acerca de algunos sitios que se encontraban en estado crítico de conservación por el ataque biológico.

La tarea no ha terminado y seguimos con la misma energía inicial, renovando la oferta museística con una nueva página web (vid. supra) y demás complementos digitales como visitas 3D, videos, audioguías, etc., que permiten llegar en forma comunicacionalmente proactiva a públicos diferentes y variados.

4.2 Comunicación pública de las ciencias

Desde las postrimerías del siglo XX, y ya en plena vigencia del nuevo milenio, se ha puesto en discusión la confianza de la sociedad como tema en las disputas políticas sobre cuestiones científicas y técnicas. Como respuesta a ello se ha adoptado un modelo de “participación pública” o “compromiso público”, propiciándose una serie de actividades destinadas a mejorar la participación ciudadana y de ahí la confianza en la política científica (Lewenstein, 2003).

En este sentido, el MOA ha participado activamente en variados eventos de estas características, siendo acompañados con la participación y res-

13 Especialmente en las llamadas “Libretas de Gould”, que constituye un valioso conjunto de cuadernos donde se registraron las primeras observaciones astronómicas del Dr. Benjamin Gould.

puesta masiva del público, quien siempre nos ha manifestado el agradecimiento y nos ha comprometido a superarnos día a día.

Comencemos con el evento museístico más importante del año. Desde hace una década, la Noche de los Museos se ha transformado en una cita cada vez más posicionada en la agenda cultural de nuestra ciudad. Recordemos que esta idea surgió en Berlín (Alemania) en 1997 con la llamada *Lange Nacht der Museen*¹⁴ y de allí se propagó a todo el mundo. En nuestra ciudad se materializó en el año 2011, mediante un trabajo organizativo y mancomunado entre la UNC, el Gobierno de la Provincia y la Municipalidad de nuestra ciudad, donde más de un centenar de espacios culturales pertenecientes a estos tres ámbitos cautivan al público cada vez más expectante, exigente y participativo. Ya es un clásico en estos eventos que el cierre del mismo se realice en el parque del OAC, lo que nos resignifica una vez más como “nodo referencial”, y así también nos exige brindar ofertas cada vez más atrayentes y significativas.

Cabe mencionar que con la pandemia COVID-19, el evento del año 2020 se realizó en formato virtual, planificándose actividades que se desarrollaron durante toda la semana y culminaron el viernes¹⁵ con una conectividad muy importante, siendo –según estadísticas aportada por la Prosecretaría de Informática de la UNC– el segundo museo universitario más accesado, luego del Museo Histórico de la UNC (que alberga la Manzana Jesuítica). Asimismo, con la reapertura gradual de los Museos en el año 2021, el cierre del evento en el OAC desbordó ampliamente las expectativas, totalizándose más de 4000 personas en el predio y otros miles que no pudieron entrar para respetar el protocolo vigente.

Otros eventos con importante asistencia masiva del público que merecen mencionarse fueron:

- Los Cielos de Córdoba (2015-2016), padre Buenaventura Suarez (2017) y Los Cielos de la Reforma (2018): actividades realizadas en conjunto con el Museo Histórico y el Museo del Colegio Nacional de Monserrat (ambos de la UNC), que superó las expectativas, y se brindaron actividades propias de sus museos, visibilización histórica

14 <https://www.lange-nacht-der-museen.de/>

15 Día de la semana generalmente asignado para desarrollar la Noche de los Museos.

del primer astrónomo criollo, actividades artísticas y de divulgación de las ciencias, que incluyó la observación astronómica del cielo mediante telescopios.

- Noche del Bicentenario (2016): donde los Museos de la UNC abrieron sus puertas para celebrar el Bicentenario de nuestra independencia, mostrando sus acervos y realizando múltiples actividades artísticas y lúdicas. Este evento formó parte de la celebración “La Noche de los 200 años”, que se llevó a cabo en diversas ciudades de nuestro país.

- DIM/DNMH: existen al año dos eventos periódicos que son también relevantes. Por un lado, el Día Internacional de los Museos (18/05), fecha establecida por ICOM en 1977 con el objetivo de recordarnos que: *los museos son un medio importante para los intercambios culturales, el enriquecimiento de culturas, el avance del entendimiento mutuo, la cooperación y la paz entre los pueblos*¹⁶.

Además, y teniendo en cuenta que el edificio principal de nuestro Observatorio ha sido declarado Monumento Histórico Nacional en el año 1995¹⁷, todos los años¹⁸ se participa en la celebración del Día Nacional de los Monumentos Históricos, en la que cientos de sitios históricos y culturales abren sus puertas para recibir gratuitamente al público.

- Mes Belisario¹⁹ (2018): realizada en conjunto con el Planetario Ciudad de la Plata (UNLP), el Museo Universitario de Tecnología Aeroespacial (MUTA/Fuerza Aérea Argentina) y el Planetario del OAC, ofreciendo proyección domótica del film Belisario²⁰ y una muestra itinerante que refleja los primeros pasos astronáuticos de nuestro país.

16 <https://imdm.icom.museum/es/que-es-el-dim/el-dim-en-breve/>

17 Como parte del conjunto edilicio formado, además, por el Museo Meteorológico Nacional y el Servicio Meteorológico Nacional por Ley Nacional N° 24.595.

18 Generalmente establecido en los días sábado y domingo del mes de mayo.

19 <https://oac.unc.edu.ar/2018/03/26/mes-belisario-en-el-oac/>

20 Audiovisual en formato *fulldome* realizado por el Planetario de la Plata que relata la historia del pequeño gran héroe del cosmos y que refleja la riquísima historia aeroespacial de nuestro país.

- Eventos artísticos culturales: con un Ciclo Coral (2018), donde participaron grupos corales de nuestra ciudad, y el espectáculo “Universo entre Canciones”²¹ (2019), espectáculo donde se combinó música y ciencias para presentar temáticas interesantes de Astronomía.

Por último, no debemos olvidar nuestro rol en la educación formal. Previo a la pandemia, el MOA recibía la visita de una gran cantidad de instituciones educativas, cuatro días a la semana, en dos turnos de 30-40 estudiantes cada uno, como así también la visita del público los días viernes y sábado en horario vespertino. En todas ellas siempre se ha atendido al público con necesidades diferentes.

4.3 Formación continua

Nuestro Museo, como otros centros de comunicación científica, representan claramente instituciones depositarias del patrimonio cultural, las cuales deben realizar el mayor de sus esfuerzos para no perder el ritmo de la evolución tecnológica y digital (Cano, 2018). Para ello, la formación continua de sus agentes responsables es vital y, en cierto sentido, debería establecerse como política de funcionamiento.

Al respecto, se participó de un taller de herramientas para la comunicación pública de las ciencias, en un curso de capacitación sobre biodeterioro en archivos y bibliotecas, como también otros que revisaron las posibilidades educativas en el ámbito de los museos y del patrimonio, analizando también la estructura de contenidos del discurso de los museos y exposiciones, y otro en el que se abordaron temas relacionados con la gestión patrimonial desde un enfoque de derechos, construcción de ciudadanía y diversidad en el espacio público, además de estimular la reflexión y prácticas que contribuyan a la transformación de las instituciones en espacios accesibles e inclusivos con y para todas las personas.

5. Celebrando el sesquicentenario

El año 2021 no es un año más en el devenir histórico de nuestro Observatorio. Siguiendo con la clásica tendencia de establecer cortes históricos

21 <https://oac.unc.edu.ar/2019/09/24/universo-entre-canciones/>

cada medio siglo, aprovechamos el momento para tomarnos un tiempo y reflexionar sobre nuestra historia institucional. El OAC ha sido testigo de grandes cambios políticos, sociales, científicos y tecnológicos. Pensemos, primero, en el país que lo vio nacer, donde la telegrafía de hilos y las vías de ferrocarril representaban el acceso al futuro; y luego en el actual, donde la Internet (inalámbrica) y la comunicación aérea y aeroespacial ya no nos sorprende...

En el medio, la historia, construyéndose en forma granular con el aporte de muchas personas, algunas ya referentes obligados en los libros y artículos de historia de las ciencias locales, otros todavía anónimos que merecen visibilizarse, valorizarse y analizarse. Aquí es donde la participación del Museo es reclamada por la sociedad, ávida de conocer su pasado, para entender mejor su presente y, a partir de allí, construir su futuro, sobre todo realista y no enmarcada en un halo de fantasía y ficción.

Para ello, llevamos adelante varias actividades: a) destacando las campañas de observación de eclipses solares emprendidas por Perrine, que tuvieron por objetivo nada menos que la verificación de la Teoría de la Relatividad de Einstein; b) participación en el primer relevamiento mundial y fotográfico de los cielos (CdC, Paolantonio & García 2019); c) nuestro "Homenaje a los Pioneros" (junto con el Museo de Ciencias de la Salud y la Municipalidad de Córdoba), para recuperar la historia de astrónomos y empleados del Observatorio que yacen en el Cementerio del Salvador; d) actualizando la historia del OAC, con una nueva edición del libro "Córdoba Estelar"²²; como así también e) revalorizando la vida y obra de Robert Winter²³; f) colaborando con la Legislatura Provincial en la sanción de Ley 10800, la cual crea el Programa de Revalorización Histórica, Cultural y de Promoción Turística del "Camino de los Puentes Colgantes", que incluye la puesta en valor del Hotel "El Cóndor", sede de las primeras reuniones organizadas por el Observatorio para tratar temáticas relacionadas con temas de física teórica y de partícula.

Asimismo, organizamos el ciclo de seminarios previos a estas Primeras Jornadas de Epistemología e Historia de la Astronomía, con el objetivo de destacar aún más aspectos que acompañaron a la historia de nuestra

22 <https://editorial.unc.edu.ar/producto/cordoba-estelar-ebook/>

23 Antiguo fotógrafo que trabajo en el ONA por aproximadamente 40 años.

Institución, con miradas tanto histórica, epistemológica, patrimonial, bibliotecológica y didáctica.

6. Conclusiones

Destaquemos, para finalizar, algunas características de los Museos de Ciencia enunciadas durante todo este trabajo. Los mismos son espacios visibles y confiables para el diálogo, la actividad y la discusión de C&T, los cuales complementan la educación formal y la educación continua, actuando de potenciales centros que permiten despertar tempranas vocaciones hacia carreras científicas y técnicas.

En los distintos eventos organizados por el MOA, presentamos a la ciencia astronómica relacionada transversalmente con otras, tales como la Física, la Matemática, las Ciencias de la Computación, la Epistemología, la Didáctica, la Filosofía, la Astronáutica, en un diálogo permanente y no jerarquizado, bidireccional y constructivo, en donde intervienen diferentes comunidades de práctica, respetando cada uno en su especificidad. Lejos de mostrar el conocimiento duro y rígido, por el contrario, hemos realizado el esfuerzo para presentarlo globalmente como construcción humana, pero dentro de una realidad local, en donde la inclusión y la equidad se encontraron segura y confiablemente imbricadas. La respuesta del público nos ha servido de evidencia, pero al mismo tiempo nos compromete a seguir alerta de los permanentes cambios sociales que acontecen.

El patrimonio resguardado por el MOA es testigo de 150 años de historia de la astronomía argentina. Da cuenta de sus inicios, así como de los objetivos de la institución, de las actividades que se desarrollaron y los métodos aplicados. Dispone de aportes invaluable al desarrollo de la investigación de la Historia de la Astronomía y de muchos instrumentos que fueron claves en la misma. En este sentido, las placas fotográficas y documentación resguardadas han aportado y pueden aportar significativamente a la ciencia, aclarando las circunstancias en que se desarrollaron algunos trabajos (como los grandes atlas estelares) y a otros trabajos concretos, por ejemplo, las placas tomadas por Perrine fueron utilizadas por Sérsic en el “Atlas de Galaxias Australes” (1968), como también en la búsqueda de variables en cúmulos estelares, y en la determinación de la órbita del cometa Halley (1985) para el acercamiento de la sonda Giotto

del año siguiente, empleándose para ello las placas del Halley tomadas por el ONA en 1910.

Asimismo, también podemos destacar que las Placas de la *CdC* digitalizadas constituyen una base invaluable en la actualidad para la determinación de movimientos propios. Estos aportes no hacen más que ratificar nuevamente que la construcción del conocimiento no se produce solamente a partir de los “nuevos descubrimientos” sino que también existen aportes de datos e información que dieron origen –en su momento– de nuevos conocimientos pero que están allí, esperando poder contribuir propositivamente para otros nuevos,

7. Agradecimientos

A las coordinaciones anteriores del MOA, en orden temporal, Dr. Guillermo Goldes, Dra. María Victoria Alonso, Dr. Carlos Bornancini y Lic. Josefina Cordera, quienes en sus respectivas gestiones realizaron un trabajo denodado y constructivo, contribuyendo al afianzamiento patrimonial y a la diversidad de actividades llevadas adelante.

A la comunidad local del Observatorio (OAC+IATE), en donde docentes, investigadoras/es, no docentes y estudiantes siempre han prestado colaboración cada vez que fue solicitada.

A la Dra. Mónica Oddone, al Dr. Martín Leiva y al Lic. Esp. Román Vena Valdarenas (Áreas de Extensión OAC) y a la Lic. Victoria Rubinstein (Área Comunicación OAC), con quienes se trabajaron mancomunadamente en cada una de las actividades desarrolladas. También queremos destacar a las/los ayudantes alumnas/os, quienes más allá de sus roles como guías del Museo, han aportado ideas y mejoras en la calidad de atención al público y sus requisitorias.

A las/os colaboradoras/es externos del Grupo GAF, del Instituto Gulich y de la FaMAF (UNC), quienes aportaron sus conocimientos y esfuerzos cada vez que fueron convocadas/os.

A la Lic. Ana Carolina Chaij, quien en diferentes gestiones llevó adelante actividades de limpieza de documentación histórica, relevamiento de material instrumental y resguardo del inventario del MOA.

A la cátedra de Preservación y Conservación de Documentos de la Escuela de Archivología de la FFyH (UNC) a cargo de la Prof. Andrea Giomi. Sus trabajos prácticos realizados con material del MOA tuvieron



un doble efecto, aportar material documental en situación realista a recuperar, y por otro lado ayudó al Museo en recuperarlo. Asimismo, contamos también con la colaboración de la Dra. María Teresa Defagó, de la Cátedra de Entomología del Centro de Investigaciones Entomológicas de Córdoba.

A las diferentes gestiones directivas del OAC, las cuales han respondido favorablemente toda vez que surgieron necesidades urgentes que resolver.

Al Dr. Maximiliano Bozzoli por la lectura crítica de este artículo.

Bibliografía

- Cano, R., 2018, *"Museos de Ciencia y Estrategias Participativas"*, EVE Museos e Innovación.
- Hooper-Greenhill, E., 2007, *"Museums and Education: Purpose, Pedagogy, Performance (Museum Meanings)"*, New York: Routledge.
- Kuhn, T., 1992, *"La estructura de las revoluciones científicas"*, Fondo de Cultura Económica, México.
- Lewenstein, B.V., 2003, *"Models of public of science and technology"*, *Public Understanding of Science*, Departments of Communication of Science & Technology Studies, Cornell University.
- Pedersoli, C., 2003, *"Los museos interactivos de ciencias como mediadores de la construcción del conocimiento"*, Tesina de Licenciatura en Ciencias de la Educación, Dir./Codir.: Dra. G. Merino/Mg. S. Ramírez
- Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, Universidad Nacional de La Plata.
- Paolantonio, S. y Garcia, B., 2019, *"The Carte du Ciel and the Latin American Observatories"*. *Under One Sky: The IAU Centenary Symposium. Proceedings IAU Symposium N° 349*, C. Sterken, J. Hearnshaw & D. Valls-Gabaud eds.

Welsh, P.H., 2005, “*Re-configuring museums*”, *Museum Management and Curatorship*, Vol 20 N° 2,103-130.



Paradojas en Cosmología

Guadalupe Mettini*

Resumen

Las paradojas pueden caracterizarse como razonamientos en los cuales conclusiones contradictorias se obtienen de premisas aceptables a través de inferencias correctas. Las modificaciones necesarias para evitar o resolver una paradoja física pueden impulsar cambios teóricos conservadores o revolucionarios dependiendo del tipo de modificación requerida para evitar la paradoja en cuestión. En el contexto de la Cosmología es usual que las paradojas comprometan principios teóricos fundamentales. El objetivo de este trabajo es mostrar el rol que los experimentos mentales pueden desempeñar en la identificación y resolución de paradojas cosmológicas. La tesis central es que estos dispositivos pueden contribuir a estos fines porque facilitan la escenificación de las premisas del razonamiento en cuestión y con ello favorecen la detección del origen de la paradoja. Consecuentemente, cuando los experimentos mentales son usados para plantear paradojas pueden favorecer la corrección de una teoría o el abandono de algún principio.

Palabras clave: *Paradojas, cosmología, experimentos mentales, cambio teórico*

Abstract

Paradoxes are arguments in which contradictory conclusions are drawn from acceptable premises through correct inferences. The modifications necessary to avoid or resolve a physical paradox can drive conservative or revolutionary theoretical changes depending on the type of modification required to prevent the paradox. In the context of cosmology, it is usual for paradoxes to compromise fundamental theoretical principles. The aim of this work is to show the role that thought experiments can play in the identification and resolution of cosmological paradoxes. The central thesis is that these devices can contribute to the identification and resolu-

* Universidad Nacional del Litoral (UNL), Argentina.

tion of paradoxes because they facilitate the staging of the premises of the reasoning in question and thus, they favor the detection of the origin of the paradox. Consequently, when thought experiments are used to raise paradoxes, they may aid the correction of a theory or the abandonment of some principle.

Keywords: *Paradoxes, Cosmology, Thought Experiments, Conceptual Change*

Introducción

Las paradojas pueden caracterizarse de manera provisoria como razonamientos en los cuales de premisas aparentemente aceptables se derivan conclusiones contradictorias o inaceptables a través de inferencias correctas. Otra manera genérica de caracterizarlas es como un conjunto de tesis plausibles que implican válidamente una conclusión, también plausible, siendo el conjunto de las tesis y la conclusión, inconsistente. Las estrategias empleadas para lidiar con las paradojas consisten en eliminar o disolver la contradicción entre las premisas y la conclusión identificando la premisa incorrecta o haciendo evidente que la contradicción entre premisas y conclusión es solo aparente.

Las paradojas físicas han sido vinculadas al cambio teórico. Las modificaciones necesarias para evitar o resolver una paradoja física pueden impulsar cambios teóricos conservadores o revolucionarios dependiendo del tipo de modificación requerida para evitar la paradoja en cuestión. Así por ejemplo, una interpretación errónea de los datos puede conducir a una reformulación de una premisa o un hueco en la teoría puede motivar una explicitación ulterior para evitar la contradicción o para mostrar que la misma es solo aparente.

Dado que la experimentación es sumamente difícil o imposible en el contexto de la cosmología y que la información empírica disponible es también difícil de integrar a la escala de los sistemas bajo escrutinio, las paradojas cosmológicas plantean enigmas cuya resolución demanda un alto grado de especulación y sutileza. Estos enigmas, en ocasiones, comprometen principios teóricos fundamentales.

El objetivo de este trabajo es mostrar el rol que los experimentos mentales pueden desempeñar en la identificación y resolución de paradojas cosmológicas. La tesis central es que estos dispositivos pueden contribuir

a la identificación y resolución de paradojas porque facilitan la escenificación de las premisas del razonamiento en cuestión y con ello favorecen la detección del origen de la paradoja. Consecuentemente, cuando los experimentos mentales son usados para plantear paradojas pueden propiciar la corrección de una teoría o el abandono de algún principio teórico. Se argumentará a favor de esta tesis explicitando la naturaleza de las paradojas, sus características en el contexto de la ciencia física y sus rasgos específicos en el contexto de la cosmología. Luego se examinará un caso de estudio, el de la paradoja de Olbers y se ilustrará a partir de su análisis, la tesis exegética del rol de los experimentos mentales en relación con las paradojas.

¿Qué es una paradoja?

Las paradojas han cautivado a los filósofos desde los comienzos de esta disciplina. A partir del desarrollo de la lógica formal se han elaborado numerosas conceptualizaciones y estrategias para tratarlas. No obstante, no existe un acuerdo generalizado sobre su naturaleza. Una caracterización general de las mismas que no asume compromisos lógicos ni epistemológicos severos es la siguiente: una paradoja se produce cuando partir de ciertos supuestos razonables, y de una inferencia aparentemente válida se derivan consecuencias inesperadas o que contradicen el sentido común. Etimológicamente el vocablo griego (παράδοξα) designa una creencia contraria a la opinión común. Otros términos griegos se han vinculado a esta noción, entre ellos: paralogismo, sofisma, aporía, antinomia. La idea que subyace a esta familia de conceptos es que se trata de razonamientos engañosos. La fascinación de los filósofos por las paradojas se debe a que “el culpable” de la contradicción es difícil de atrapar. En estos razonamientos hay un error que no es fácil de detectar: “las apariencias tienen que engañar, ya que lo aceptable no puede conducir con pasos aceptables a lo inaceptable” (Sainsbury, 2009, p. 6).

Quizás las dos paradojas filosóficas más conocidas sean las del Mentiroso y el Barbero. Ambos casos son útiles para ilustrar las peculiaridades de este tipo de razonamiento. El primero, conocido también como la paradoja de Epiménides, puede formularse de la siguiente manera: si alguien afirma “esta oración es falsa”, la oración en cuestión: ¿es verdadera o es falsa? Si la oración es falsa entonces es verdadera (porque quien la afirma miente) y si es verdadera entonces es falsa (porque quien la afirma

dice la verdad). En la versión griega, Epiménedes el cretense, afirma: “Todos los cretenses son mentirosos” ¿Epiménedes miente o dice la verdad? Si miente dice la verdad, si dice la verdad miente.

El segundo caso relata la historia de un barbero que afeita a todos y solo a los que no se afeitan a sí mismos. El barbero en cuestión ¿se afeita o no se afeita a sí mismo? W. Quine formula la paradoja de la siguiente manera: “Todo hombre de este pueblo es afeitado por el barbero si y sólo si no es afeitado por sí mismo. Por lo tanto, en particular, el barbero se afeita a sí mismo si y solo si no se afeita a sí mismo. Nos encontramos entonces con una dificultad si decimos que el barbero se afeita a sí mismo y nos encontramos con otra dificultad si afirmamos que no lo hace.” (Quine, 1974, p. 224). La misma cuestión, formulada en términos de conjuntos, fue planteada por B. Russell en una carta a G. Frege y G. Cantor. De manera simplificada, la paradoja es la siguiente: el conjunto de todos los conjuntos que no son miembros de sí mismos ¿es un miembro de sí mismo?

Si es miembro de sí mismo no es miembro de sí mismo. Si no es miembro de sí mismo, es miembro de sí mismo. Esta paradoja parece resolverse de la misma manera que el enigma del barbero, esto es, negando que pueda existir tal conjunto. No puede existir el conjunto de todos los conjuntos que no son miembros de sí mismos, como parece que no puede existir un barbero contradictorio (que se afeita así mismo si y solo si no se afeita a sí mismo). La paradoja de Russell mostró un error fatal para el axioma de la comprensión formulado por Cantor a partir el cual se plantea la paradoja (este es: para cualquier condición hay un conjunto de objetos que satisfacen esta condición) e impulsó el desarrollo de la teoría de los tipos. Este caso muestra elocuentemente cómo las paradojas pueden motivar transformaciones profundas dentro de una disciplina científica. El caso incluso ha sido tomado como objeto de disputa en la discusión filosófica en torno al realismo matemático. Para algunos el episodio puede ser usado como argumento para sostener que no hay intelección de verdades matemáticas. Para los defensores del realismo matemático, sin embargo, el caso puede ser interpretado como un caso de intuición falible de verdades matemáticas:

La paradoja de Russell, como señalé anteriormente, provocó una revisión de un axioma (o al menos un axioma implícito; la paradoja se descubrió antes de que la teoría de conjuntos fuera axiomatizada oficialmente). Pero hizo más que eso. También condujo a la revisión del concepto de conjun-

to. Cantor dijo que un conjunto es “cualquier colección en todo M de objetos definidos y distintos $m...$ ” (1895, p. 85). Esto claramente no funciona como una concepción de conjunto ya que conduce al conjunto de Russell y luego a las paradojas. Actualmente, la idea reinante es la “concepción iterativa de conjunto” (...). El pensamiento “conjunto de todas las cosas que no son miembros de sí mismas”, aunque es legítimo en la concepción de un conjunto de Cantor, está descartado en la concepción iterativa. Los teóricos de conjuntos contemporáneos todavía están en el aire sobre la concepción adecuada de conjunto. Este es un claro caso de cambio conceptual. El falibilismo involucrado es el de tener el concepto equivocado no el falibilismo de tener creencias equivocadas sobre el concepto correcto (Brown, 2008, p. 24)

Estos ejemplos muestran la relevancia de las paradojas para el desarrollo de las disciplinas científicas y su importancia para el análisis filosófico y la comprensión de la naturaleza del razonamiento científico.

Paradojas físicas

En Física, una paradoja puede caracterizarse como un razonamiento en el cual supuestos aparentemente aceptables conducen por deducciones aparentemente válidas a una aparente contradicción (Aharonov & Rohrlich, 2005, p. 2). Hay básicamente tres maneras de abordar a las paradojas físicas, las tres consisten en estrategias para eliminar o disolver la contradicción. Si se considera que las premisas que constituyen una paradoja son individualmente plausibles pero mutuamente inconsistentes, entonces es preciso identificar la premisa errónea y abandonarla. Si no es posible abandonar ninguna premisa entonces o bien debe haber un error en la inferencia que necesita ser explicitado o bien la contradicción entre las premisas es solo aparente. Siguiendo este criterio de distinción, algunos autores han clasificado a las paradojas en Física (entre ellos: Sorensen, 2003; Rescher, 2001; Cuicic, 2009). La gravedad del elemento a corregir se ha vinculado a diferentes transformaciones que deben ser operadas en las teorías físicas dentro de las cuales aparecen: una interpretación errónea de datos puede conducir a una reformulación de una premisa que fue identificada como errónea, un hueco en la teoría puede requerir de una explicitación ulterior para evitar la contradicción o para mostrar que la misma es solo aparente. Las modificaciones necesarias para evitar la paradoja pueden implicar cambios teóricos conservadores o revolucionarios.

Estas no son las únicas clasificaciones posibles de las paradojas físicas. Otras taxonomías atienden al área de conocimiento de la Física dentro de la cual se plantean las paradojas (habría paradojas en Mecánica cuántica, Relatividad, etc.) y en otros casos se distingue a las paradojas teniendo en cuenta si se originan en la investigación empírica, en el formalismo matemático o si se deben a idealizaciones. Lo que estas clasificaciones tienen en común es la idea de que las paradojas producen una suerte de disonancia cognitiva.

En un texto reciente, Cuicic (2021) señala que las paradojas físicas aparecen con mayor frecuencia en “situaciones críticas”, cuando se forma una nueva visión paradigmática de la física; en una “crisis” de la opinión estandarizada. Las paradojas en física pueden diferir en relevancia, dependiendo de cuán aceptadas sean y cuán extendida sea su explicación física. Por lo tanto, se pueden crear paradojas dentro de teorías no confirmadas, dentro de las teorías aceptadas o como resultado de la investigación empírica o la experimentación. Asimismo, dado que la característica principal de las paradojas es que su conclusión es una contradicción, son indicadores útiles de que hay algo erróneo dentro de las teorías en las que se aparecen. Aunque, y en ello consiste su naturaleza engañosa, no es fácil establecer cuál es el error. Aharonov y Rohrlich (2005, pp. 2-3) proponen que las paradojas pueden motorizar importantes modificaciones en las teorías físicas y que es posible distinguir entre las paradojas que se deben a errores (lógicos o empíricos), las que se deben a huecos o fallas en las teorías y las que son causadas por contradicciones dentro de las teorías. Estas últimas son las que impulsan cambios conceptuales revolucionarios.

Si bien no todas las paradojas en física conducen a cambios revolucionarios, su identificación, formulación e intentos de resolución reportan otros beneficios. Las paradojas contribuyen a comprender mejor las teorías, corregir intuiciones, articular las teorías con los fenómenos e introducir restricciones a los enunciados teóricos. Algunos ejemplos notables de paradojas en física, que podrían considerarse como representativos de las características que les hemos atribuido a las mismas dentro del razonamiento científico, son la paradoja de la caja de fotones planteada en el contexto de la disputa entre Einstein y Bohr acerca del principio de indeterminación (Ver Bohr, 1949, pp. 199-242), la conocida paradoja del demonio de Maxwell ([1871](1873), pp. 308-309) y la paradoja que el joven Einstein planteó a la teoría del electromagnetismo de Maxwell (Einstein

[1919] 1999, pp. 147-200). El primer caso, de acuerdo con Einstein sería posible una medición simultánea arbitrariamente exacta del tiempo y la energía de un fotón, si pudiera crearse un mecanismo equipado con un reloj que liberara un fotón a la vez. Este hecho, la medición simultánea de la posición y el momento del electrón, constituye una violación de la relación de indeterminación entre energía y tiempo. La respuesta de Bohr fue que la suposición de Einstein es imposible ya que la salida del fotón de la caja hace que se mueva en un campo gravitacional, lo que según la relatividad general afecta la velocidad del reloj, socavando así la exactitud deseada de la medición del tiempo. En el segundo caso Maxwell propuso imaginar un demonio capaz de dejar pasar selectivamente las moléculas más rápidas de aire frío dentro de un compartimiento de aire caliente y las moléculas más lentas de un compartimiento de aire caliente dentro del compartimiento lleno de aire frío. El caso se propuso mostrar el carácter estadístico de la segunda ley de la termodinámica, imaginando un escenario en el cual la entropía no se incrementa en el tiempo. En el tercer ejemplo, el joven Einstein se imaginó a sí mismo corriendo a la velocidad c junto a un haz de luz. Supuso que en tales condiciones no sería posible ver una onda propagándose sino más bien una onda estacionaria. Sin embargo, esto no puede ser así, ya que el cambio es esencial para una onda de luz; si el campo eléctrico o magnético es estático, no dará lugar al otro y, por tanto, no habrá onda electromagnética. Algunas lecturas han señalado que este caso muestra una contradicción fatal para el electromagnetismo de Maxwell.

Paradojas en Cosmología

Las paradojas cosmológicas tienen particularidades que han capturado la atención de filósofos y científicos. Dado que la experimentación es sumamente difícil en este ámbito y que la información empírica es difícil de integrar a la escala de los sistemas bajo escrutinio, las paradojas cosmológicas plantean enigmas cuya resolución demanda un alto grado de especulación y sutileza. Estos enigmas en ocasiones comprometen principios teóricos fundamentales. Si bien dentro de la cosmología observacional moderna el progreso técnico permitió el desarrollo de la astronomía óptica y posibilitó la construcción de mapas de distribución de galaxias y el desarrollo de la radioastronomía hizo posible tomar imágenes del universo primitivo,

algunas de las hipótesis centrales de esta disciplina son eminentemente especulativas. La postulación de entidades inobservables, como la materia oscura o la energía oscura, las hipótesis vinculadas a la evolución del universo primigenio y la interpretación de modelos estadísticos, entre otras cuestiones, involucran un alto grado de conjetura.

La cosmología como disciplina científica muy joven aún no ha alcanzado el mismo grado de diferenciación que otros subcampos de la física. [En] La llamada aquí cosmología originaria (...) las partes especulativas, necesariamente implícitas en la teorización física, son dominantes; recién están comenzando a vincularse con pruebas empíricas o aún esperan ser probados en el futuro (Goenner, 2010, pp. 390)

En los inicios de la cosmología moderna las paradojas del colapso gravitacional y de la oscuridad de la noche fueron enigmas acuciantes para el sistema newtoniano. La cosmología newtoniana asumía que las estrellas se encontraban distribuidas por todo el universo a diferentes distancias. Newton había sostenido en sus primeros años una cosmología semejante a la estoica, donde un universo finito se encontraba rodeado por un espacio vacío que se extendía infinitamente. En ese universo, si se suponía que la materia esparcida por el espacio se atrae mutuamente, el colapso gravitatorio sería inevitable. No obstante, dado que no se observa movimiento en las estrellas fijas, sostuvo que es razonable suponer que el colapso no se está produciendo.

La paradoja del colapso gravitacional fue planteada por el reverendo Richard Bentley en 1692 y motivó un cambio en algunos de los supuestos de Newton, quien a partir del reconocimiento de este conflicto, conjeturó un modelo cosmológico con infinitas estrellas distribuidas de manera más o menos uniforme en un espacio infinito. No obstante, este cambio en los supuestos no solucionó el problema del colapso gravitacional. En un modelo de estas características, la fuerza gravitatoria debería atraer las grandes masas unas hacia otras. Este proceso podría haber dado lugar a la formación de estrellas o conglomerados de estrellas. Pero, dado que la fuerza de gravedad es siempre atractiva y proporcional a la masa de los cuerpos, las estrellas y conglomerados de estrellas deberían colapsar formando una única masa esférica. La solución que Bentley propuso para un universo infinito, es que todas las estrellas se encuentran en reposo porque cada una está rodeada por infinitas estrellas en todas direcciones,

de modo que las fuerzas atractivas de todas ellas se cancelan mutuamente, de manera tan precisa como para que la fuerza neta sobre cada estrella sea exactamente igual a cero.

La paradoja del colapso gravitacional y la paradoja de la oscuridad de la noche que se desarrollará en el próximo apartado, fueron formuladas y sus soluciones fueron presentadas como experimentos mentales. A partir de lo argumentado hasta aquí y con base en el examen de este caso, se intenta mostrar la relevancia de los experimentos mentales como estrategias eficaces para plantear y ensayar soluciones a paradojas cosmológicas, y con ello, exhibir su importancia en los episodios de cambio conceptual y revisión de supuestos teóricos.

La paradoja de Olbers y los experimentos mentales

El punto de partida de la Paradoja de Olbers es la simple observación de que el cielo nocturno es oscuro. Este hecho resulta, sin embargo, difícilmente explicable en el marco de la cosmología newtoniana, donde se supone que el universo es espacialmente infinito y está poblado por un número infinito de estrellas distribuidas de manera más o menos uniforme. En un escenario como ese, un observador terrestre que contemplara el cielo nocturno en cualquier dirección debería encontrar una estrella en su línea de visión. Incluso si se considera una estructura astronómica más compleja de estrellas agrupadas en galaxias, el resultado es un cielo completamente cubierto de estrellas y con ello, completamente brillante. Este problema en apariencia sencillo tiene una importancia capital para la cosmología moderna: es evidencia de que el universo no puede ser al mismo tiempo infinito y eterno.

La paradoja de la oscuridad de la noche fue objeto de reflexión de las mentes más brillantes de la modernidad. T. Digges (1576) consideró que los espacios oscuros entre las estrellas estaban causados por la distancia que separaba a un observador situado en la Tierra de ellas. Digges podría señalarse como el primero en notar que la oscuridad de la noche requería de una explicación para quienes sostenían la infinitud del universo. J. Kepler (1610)¹ escribió a Galileo que la observación de miles de estrellas,

1 La carta de Kepler a Galileo se convirtió posteriormente en un libro, *Dissertatio cum Sidereo* (“Conversaciones con el mensajero de las estrellas”), que fue publicado

apiñadas y formando cúmulos, fortalecía el argumento contra la infinitud del universo. W. Stukeley (1752) le hizo notar este problema a Newton en base a la observación de la vía láctea. Halley ensayó una formulación y dos soluciones a la paradoja de la noche oscura en 1721. Pero la paradoja fue conocida por la formulación que de ella realizó el astrónomo alemán H. Olbers en 1823. De acuerdo a su formulación, incluso si se asume que las estrellas están agrupadas en galaxias como la Vía Láctea, y si se supone que su número es infinito, la línea de visión de un observador, cualquiera sea la dirección hacia la que se dirija, debería alcanzar la superficie de una estrella en algún punto. Este es un escenario similar al de un observador situado en el interior de un denso bosque que en cualquier dirección que dirija su mirada encuentra en tronco de un árbol. La solución planteada por Olbers establece que dado que la bóveda celeste no es en todos sus puntos tan brillante como el Sol, el espacio interestelar no debe ser completamente transparente y en él debe ocurrir la absorción de la luz de las estrellas más lejanas, sumiendo al espacio infinito en la oscuridad, como un bosque sumergido en la niebla.

La solución de Olbers, como la de Halley, es incorrecta. De acuerdo al meticuloso análisis del enigma realizado por Harrison (2002) estos y los demás intentos de solución de la paradoja que suponen un cielo cubierto de estrellas fallan por razones termodinámicas. En términos generales, el problema, según Harrison, no es el de la presencia de luz visible, sino el de la acumulación de radiación térmica emitida por las estrellas. Cualquier tipo de materia que bloqueara la luz de las estrellas debería calentarse con el tiempo y, en algún momento, comenzaría a emitir tanta radiación como absorbe. En consecuencia, emitiría toda la radiación de las estrellas que oculta. El problema podría resolverse suponiendo que el universo es extremadamente joven, tanto como para que el calentamiento de la materia oscura resulte despreciable hasta el momento. Pero esa hipótesis no resulta aceptable en la cosmología actual. La única solución cuantitativamente correcta a la paradoja relaciona el límite del universo visible con la radiación que se estima que emite la superficie del Sol. De acuerdo con esta interpretación, el universo visible está formado por un número finito de estrellas cuya luz ha tenido tiempo de alcanzar al observador. La primera versión correcta de esta solución, presentada de manera cuantitativa por Kelvin (1901) fue propuesta por E.A. Poe (1848) en un poema en prosa.

en 1611. Este es el texto al que referimos en este trabajo.

Según el poeta, el cielo nocturno es oscuro porque la luz de las paredes doradas aun no nos ha alcanzado.

Si bien no es posible en el espacio de este trabajo, presentar detalladamente las formulaciones e intentos de solución a la paradoja de la noche oscura referidos, es posible mencionar algunos de sus rasgos característicos. Los experimentos mentales empleados para formular y resolver la paradoja de Olbers presentan el problema a partir de la descripción de escenarios que son análogos a los que producen la paradoja. Los mismos parten de un conjunto de supuestos teóricos, incluyen representaciones visuales y emplean idealizaciones, abstracciones y distorsiones para producir un modelo de la teoría en el cual, se ilustra y se explica el fenómeno en cuestión.

La lectura que este trabajo se propone propiciar es que los experimentos mentales empleados en la formulación y soluciones de la paradoja de Olbers funcionan creando modelos dinámicos que integran información empírica disponible, principios teóricos y premisas implícitas en el razonamiento teórico. A partir de la escenificación de las premisas que constituyen la paradoja facilitan la detección del origen de la misma y consecuentemente, hacen posible la corrección de una teoría o el abandono de algún principio.

Conclusiones

Se ha intentado mostrar que las paradojas exhiben una disonancia cognitiva, la contradicción entre enunciados individualmente plausibles pero mutuamente inconsistentes, que en el campo de la ciencia Física ha motivado importantes controversias y en ocasiones, ha dado lugar a la revisión de algunos principios fundamentales. Los casos descritos, la paradoja planteada por Einstein en relación al principio de incertidumbre, el demonio figurado por Maxwell para mostrar el carácter estadístico de la segunda ley de la termodinámica y el ejemplo propuesto por el joven Einstein para proponer una objeción al electromagnetismo de Maxwell, son ejemplos elocuentes de la función de las paradojas en el desarrollo de distintos campos de la física.

En el contexto de la cosmología, donde la experimentación es sumamente difícil y la información empírica es difícil de integrar a la escala de los sistemas bajo escrutinio, las paradojas plantean enigmas cuya resolución demanda un alto grado de especulación y sutileza. Estos enigmas en

ocasiones comprometen principios teóricos fundamentales. Tal es el caso de la paradoja del colapso gravitacional y el de la paradoja de Olbers. Este último, cuya formulación y soluciones fueron planteadas desde los inicios de la ciencia moderna como experimentos mentales, permiten evidenciar de qué manera esta herramienta favorece a la resolución de paradojas y con ello al cambio conceptual.

Si bien no fue posible desarrollar detalladamente estas consideraciones sobre la función de los experimentos mentales y su vinculación con las paradojas, la escenificación de las premisas que éstos hacen posible y la visualización de los elementos en contradicción que propician, favorece claramente a la comprensión de los problemas y a la obtención de soluciones. Los experimentos mentales permiten detectar inconsistencias dentro de las teorías, vincular adecuadamente la información empírica disponible e incluso advertir errores en las inferencias.

Bibliografía

- Aharonov, Y. & Rohrlich, D. (2005). *Quantum Paradoxes: Quantum Theory for the Perplehed*. John Wiley & Sons, New York.
- Bohr, Niels (1949), "Discussion with Einstein on Epistemological Problems in Atomic Physics", en Schilpp, P (ed.), *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*. The Library of Living Philosophers Vol VII, Open Court: Evanston. Pp: 199-242.
- Brown, J. (2008). *Philosophy of Mathematics: A Contemporary Introduction to the World of Proofs and Pictures*, London and New York: Routledge.
- Cucić, D. (2006). *Paradox in physics, the consistency of inconsistency*. En *6th International Conference of the Balkan Physical Union BPU6*, Istanbul, Turkey 22-26. August 2006.
- Cucić, D. (2021). "Classifications of Paradoxes in Physics". *Phlogiston* 29. Pp. 173-198.

- Digges, T. (1576). "A Perfit Description of the Caelestiall Orbes." In *Prognostication Everlasting*, by Leonard Digges. London: Thomas Marsh.
- Einstein, A. [1919] (1999). "The Foundation of the General Theory of Relativity". En Kox, M. y Schulman, R. (eds.), *The Collected Papers of Albert Einstein. Volume 6*. Princeton: Princeton University Press, pp. 147-200
- Goenner, H. (2010). "What kind of science is cosmology?" *Annalen der Physik* (Leipzig) 522, Nr. 6, 389-418 (2010); arXiv: astro-ph/2010.5532. pp. 1-62.
- Harrison, E. (2002). *Darkness at Night: A Riddle of the Universe*. Cambridge: Harvard University Press.
- Halley, E.(1721) "Of the Infinity of the Sphere of Fixed Stars" Reimpreso en Harrison, E. (2002). *Darkness at Night: A Riddle of the Universe*. Cambridge: Harvard University Press pp: 218-219.
- Kepler, J. (1611). *Dissertatio cum Sidereo*. Frankfurt.
- Kelvin, L. (William Thomson) (1901) "On ether and gravitational matter through infinite. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 2: 161-177.
- Maxwell, J. [1871] (1873). *Theory of Heat*. Third Edition. London: Longman
- Sorensen, R. (1992). *Thought Experiments*. New York: Oxford University Press.
- Maxwell, James Clerk (1871) *Theory of Heat*. London: Longmans, Green and Co 308-309.

- Poe, E. [1848] (1976). *Eureka: A Prose Poem*. Reproducido en Beaver, H. (ed.). *The Science Fiction of Edgar Allan Poe*. Harmondsworth: Penguin, pp. 205–309.
- Quine, W. (1974). Matemáticas en el mundo moderno, Selecciones de “Scientific American”. Blume, Madrid- Barcelona. pp. 224-233.
- Rescher, N. (2001). *Paradoxes: Their Roots, Range and Resolution*. Chicago: Open Court.
- Russell, B. (1903) “The logical and Arithmetical Doctrines of Frege” Appendix A. *The Principles of Mathematics*. <https://fair-use.org/bertrand-russell/the-principles-of-mathematics/appendix-a>
- Sainsbury, R. (1995). *Paradoxes*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Stukeley, W. (1752). *Memoirs of Sir Isaac Newton’s Life*. Antiquary, Cambridge.



Apuntes sobre los comienzos de la Astrofísica en la República Argentina

Santiago Paolantonio*

Resumen

Se ha podido identificar documentación e instrumentos que permiten afirmar que los estudios astrofísicos en Argentina estuvieron presentes desde los inicios de la astronomía profesional en el país, a diferencia de lo usualmente afirmado en la historiografía, que los sitúan avanzado el siglo XX. En los primeros observatorios, inaugurados en Córdoba y La Plata, se dio un primer período con presencia de instrumentos destinados a realizar observaciones astrofísicas, así como investigaciones que desde principios del siglo XX se llevaron adelante en forma progresiva y sostenida, hasta que la puesta en servicio de la Estación Astrofísica de Bosque Alegre en 1942, posibilitó el desarrollo definitivo de la astrofísica en la región. En este trabajo se describen los objetivos perseguidos, instrumentos adquiridos y trabajos realizados en este período inicial, así como la importancia que tuvieron para las posteriores investigaciones astrofísicas.

Palabras clave: *Historia y filosofía de la astronomía, astrofísica, Observatorio Nacional Argentino, Observatorio Astronómico de La Plata.*

Abstract

It has been possible to identify documentation and instruments that allow us to affirm that astrophysical studies in Argentina were present from the beginning of professional astronomy in the country, unlike what is usually affirmed in historiography, which places them in the late twentieth century. In the first observatories, inaugurated in Córdoba and La Plata, there was a first period with the presence of instruments destined to carry out astrophysical observations, as well as investigations that from the beginning of the 20th century were carried out in a progressive and sustained manner, until the commissioning service of the Bosque Alegre

* Museo del Observatorio Astronómico de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC), Argentina

Astrophysical Station in 1942, made possible the definitive development of astrophysics in the region. In this paper the objectives pursued, instruments acquired and work carried out in this initial period are described, as well as the importance they had for subsequent astrophysical investigations.

Keywords: *History and Philosophy of Astronomy, Astrophysics, Argentine National Observatory, Astronomical Observatory of La Plata.*

Introducción

A principios del siglo XIX, el francés Augusto Comte (1798-1857) afirmaba la imposibilidad del ser humano para estudiar la composición química de los cuerpos celestes (Comte, 1835, p. 8), una idea compartida por varios pensadores de la época. Lo que Comte desconocía era que un par de décadas antes, se había comenzado a transitar el camino que llevaría a hacer realidad lo que le resultaba impensable, cuando Josef Fraunhofer (1787-1826) identificó líneas oscuras en la luz descompuesta del Sol, Venus y varias estrellas brillantes, utilizando un dispositivo de su invención y fabricación, el espectroscopio. Con el desarrollo de las redes de difracción, Fraunhofer demostró que las líneas eran un fenómeno vinculado a la luz y no al instrumental utilizado.

A partir de 1859, Gustav Kirchhoff (1824-1887) enunció las leyes de la radiación de los cuerpos, proponiendo una explicación a las líneas observadas, y junto a Robert Bunsen (1811-1899) lograron relacionarlas con elementos químicos, abriendo de este modo el camino definitivo al estudio físico-químico de los astros. Contemporáneamente, el marco teórico sobre estos fenómenos se comenzó a establecer gracias a los trabajos de Michel Faraday (1791-1867) y James Maxwell (1831-1879), quienes sentaron las bases de la Teoría Electromagnética.

Estas investigaciones posibilitaron la creación de una nueva rama de la astronomía, la astrofísica, dedicada al estudio de las propiedades físico-químicas de los objetos y fenómenos celestes, utilizando los conocimientos de física, principalmente a través del análisis de la radiación electromagnética. Su desarrollo se basó en la idea que todos los objetos del cosmos están compuestos por elementos químicos iguales a los existentes

en nuestro entorno, y que las leyes que describen los fenómenos físicos son válidas en todo el universo.

Los comienzos fueron lentos. Hubo que superar el descreimiento de algunos astrónomos sobre la necesidad de estos estudios, tal el caso del destacado e influyente Friedrich Bessel (1784-1846), quien sostenía que la astronomía debía limitarse a realizar medidas precisas de las posiciones y órbitas de los cuerpos celestes (Kragh, 2008, p.150). A la par, se debieron solucionar numerosos problemas tecnológicos. Las observaciones astrofísicas implicaban descomponer la débil luz proveniente de los cuerpos celestes, que posteriormente debía cuantificarse, por lo que requerían telescopios de mayores aberturas a los existentes, así como el desarrollo de nuevos instrumentos específicos.

El progresivo aumento en el interés por estas investigaciones, generó una competencia para la fabricación de telescopios de mayores tamaños, la que de hecho llega hasta nuestros días. Los refractores encontraron su límite a fines del siglo XIX, en una abertura de un metro, debido a las deformaciones que sufrían las lentes por su propio peso, al tener que sostenerse solo por su perímetro. Los reflectores, cuyos espejos no tenían este problema, podían escalar a diámetros mucho mayores, pero su fabricación debió esperar al perfeccionamiento de la fundición de grandes bloques de vidrio, el desarrollo de técnicas para el pulido de sus superficies y de los dispositivos mecánicos necesarios para mover, con la delicadeza y la precisión requeridas los importantes pesos involucrados.

A principios del siglo XX aparece una primera generación de telescopios e instrumentos específicos, los que, junto al perfeccionamiento de la técnica fotográfica que venía desarrollándose en forma sostenida desde fines del siglo anterior, hicieron posible el efectivo desarrollo de esta área de la astronomía, que terminó convirtiéndose en la dominante a lo largo de todo el siglo.

La astrofísica en Argentina

En síntesis, mientras que para la década de 1860 ya se habían establecido las bases para los trabajos astrofísicos, los instrumentos necesarios se desarrollaron progresivamente a lo largo de la última parte de esa centuria y comienzos de la siguiente. En este período, las investigaciones se in-

crementaron hasta tomar definitivo impulso en las primeras décadas del siglo XX.

En este contexto es que se funda en 1871 el primer establecimiento astronómico del país, el Observatorio Nacional Argentino (ONA) en la ciudad de Córdoba, y una década más tarde, en 1882, el Observatorio Astronómico de La Plata (OALP). Estas instituciones fueron las únicas dedicadas a la astronomía hasta bien entrado el siglo XX, por lo que el análisis de lo realizado en éstas, permite caracterizar los inicios de los estudios astrofísicos en Argentina.

Estos observatorios nacieron en una época en que el interés de la comunidad astronómica se centraba en la astronomía de posición, que querían extenderse al hemisferio sur celeste, por lo que sus principales objetivos fundacionales se relacionaron con esta área. Sin embargo, se incluyeron también algunos vinculados a la astrofísica.

En ambas instituciones es posible identificar dos etapas en relación con los estudios astrofísicos. La primera, que se extiende desde sus fundaciones hasta la primera década del siglo XX, se caracteriza por la declaración de intenciones para llevar adelante este tipo de observaciones, la adquisición de instrumentos específicos y la casi total ausencia de trabajos realizados. En la segunda, que se desarrolla hasta comienzos de la década de 1940, se identifica un progresivo incremento de investigaciones, algunas de importancia, y tiene como corolario la puesta en funciones de la Estación Astrofísica de Bosque Alegre en 1942, que permitió el desarrollo definitivo de la astrofísica en el país.

Primera Etapa

Observatorio Nacional Argentino (1871-1909)

Esta etapa incluye las gestiones de los astrónomos Benjamin A. Gould (1824-1896), primer director del ONA, y de su discípulo y sucesor John M. Thome (1843-1908) (Paolantonio y Minniti, 2001).

Gould expuso a fines de 1868 los objetivos fundacionales del nuevo observatorio en una carta dirigida al presidente Domingo F. Sarmiento (1811-1888)¹:

1 Gould a Sarmiento, 24/12/1868, Museo Sarmiento, N° 1513.

- 1) Formación de un catálogo de posiciones estelares del cielo austral no catalogadas.
- 2) Realización y medición de fotografías de los más prominentes o singulares grupos estelares.
- 3) Realización del análisis espectroscópico de la luz de las estrellas más brillantes.

Para el tercer objetivo, netamente astrofísico, se señala la necesidad de adquirir espectroscopios. En su discurso pronunciado en la inauguración del ONA, el presidente Sarmiento mencionó específicamente los estudios espectroscópicos que se realizarían.

Al crearse el ONA, varias instituciones apoyaron el emprendimiento, tal es el caso de la American Academy of Art and Sciences de Boston, que encargó la construcción de dos instrumentos: "... con el fin de procurarme los aparatos necesarios para el estudio de la luz de las estrellas del sud..." (Gould, 1871, p.83).

Se trataba de un fotómetro fabricado por Ausfeld de Gota y un espectroscopio de protuberancias por Tauber de Leipzig (Paolantonio, 2012a,b). En 1872 se autorizó el pago a la Academia para que ambos aparatos quedaran en poder del ONA (Gould, 1873, p.472). Posteriormente, en 1874 se adquieren otros tres espectroscopios (Gould, 1875, p.224).

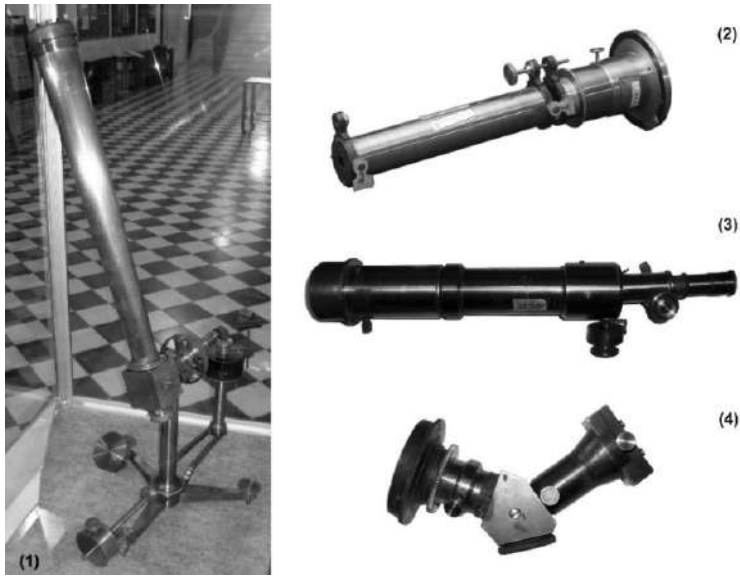


Figura 1. (1) fotómetro Zöllner, (2) espectroscopio de protuberancias Tauber, (3 y 4) dos de los espectroscopios comprados en 1874 (Museo del OAC, Fotografías del autor).

Aunque el propósito que motivó a Gould viajar a la Argentina era la confección de catálogos estelares (Paolantonio y Minniti, 2001), estas adquisiciones muestran que valoraba la importancia y oportunidad de realizar investigaciones astrofísicas. A pesar de esto, durante su gestión no se llevaron adelante, al darse prioridad a los trabajos astrométricos (Gould, 1881, p.XVI). En 1881, Gould destacó que quedaban hechos los preparativos para que más tarde se realizara “esta importante empresa” (Gould, 1882, p.91). Sin embargo, su discípulo y sucesor tampoco emprendió los estudios.

En cuanto al segundo objetivo, relacionado con la astrofotografía, si bien se relacionaba con la medición de posiciones estelares y no con sus características físicas, corresponde destacarlo dada la importancia fundamental que tuvo esta técnica en el posterior desarrollo de la astrofísica (Paolantonio y Minniti, 2008).

Observatorio Astronómico de La Plata (1883-1911)

El OALP fue creado el 22 de noviembre de 1883 bajo la órbita de la Provincia de Buenos Aires, en la recién fundada ciudad de La Plata. Su primer director, el francés François Beuf (1834-1899), organizó la institución, la que a diferencia del ONA incluyó entre sus propósitos, aparte de los astronómicos, estudios geodésicos, magnéticos y meteorológicos. Entre sus objetivos, se planteó la observación del espectro del Sol, el único vinculado a la naciente astrofísica (Hussey et al., 1914).

Entre los primeros instrumentos adquiridos se incluyó un espectroscopio de Thollon (Hussey et al., 1914, p.10), específicamente destinado al estudio del espectro solar, y dos telescopios que, por sus dimensiones, se presentaban adecuados para observaciones astrofísicas, un reflector de 80 cm de diámetro que llegó en 1890 y un refractor de 433 mm que fue recibido en 1894 (Hussey et al., 1914).

A pesar de contarse con el mandato y los instrumentos necesarios, no se concretaron trabajos astrofísicos. Una fuerte crisis financiera y política que sufrió Buenos Aires afectó al OALP, la que, junto a una penosa enfermedad de su Director, llevó a la institución a un estado de casi inactividad (Raffinetti, 1904). Esta situación comenzó a revertirse luego de la transferencia del Observatorio al ámbito nacional, al integrarse a la recién creada Universidad de La Plata en 1905.

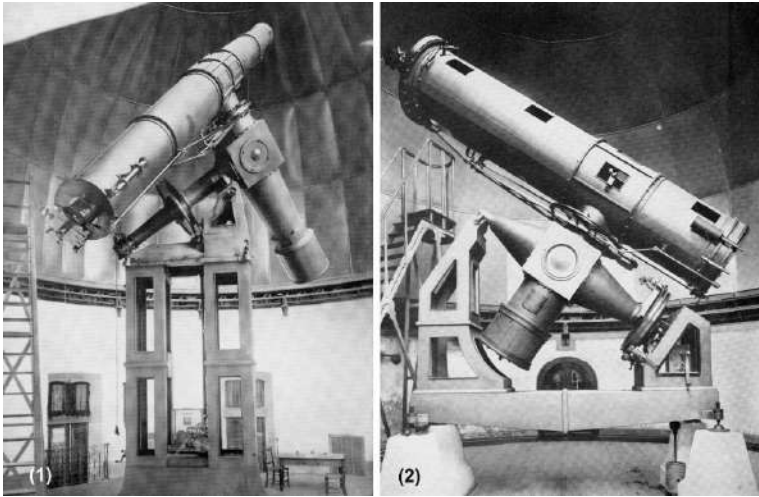


Figura 2. (1) Telescopio refractor 433 mm, (2) Telescopio reflector de 80 cm del OALP (Hussey et al. 1914).

Segunda Etapa

Observatorio Nacional Argentino (1909-1942)

Al fallecer Thome en forma repentina en 1908, el Gobierno Nacional realizó gestiones para contratar a su sucesor. A fines de ese año se eligió como nuevo director al Dr. Charles D. Perrine².

Perrine se desempeñaba como astrónomo en el Lick Observatory realizando principalmente observaciones astrofísicas. Era un experto observador de cometas y eclipses de Sol, y se encargó del reflector Crossley, con el cual realizó estudios fotográficos de objetos nebulares (Paolantonio y Minniti, 2009).

Mientras que en 1871 los catálogos estelares australes eran imperiosamente necesitados por la comunidad astronómica internacional, en la primera década del siglo XX se planteaba la urgente necesidad de estudios

² Las circunstancias que llevaron a la designación de Perrine son analizadas en Paolantonio (2011).

astrofísicos de los numerosos y particulares objetos de la bóveda celeste sur. Luego de asumir su cargo, consciente de esta necesidad, Perrine propuso el inicio de investigaciones de fotometría y espectroscopía estelar y de objetos nebulares, así como de eclipses solares, todas tareas similares a las que había realizado en EE. UU..

Para poder concretar estos trabajos, solicitó la contratación de personal especializado y la adquisición del instrumental necesario, entre los cuales se destaca un telescopio de 1,5 m de diámetro, igual al más grande del mundo existente en la época, que se instalarían en las sierras de la provincia de Córdoba.

El análisis de los acontecimientos y la correspondencia del director con sus pares estadounidenses, hace razonable suponer la posibilidad que la propuesta del gran telescopio fuera sugerida por, o consultada con, el Lick Observatory. Esta institución tenía especial interés por ampliar los trabajos astrofísicos de los cielos australes que ya venía realizando (Minniti Morgan, 2010)³.

La compra del telescopio fue aprobada en 1912, y luego de una búsqueda del sitio más adecuado para su instalación, se eligió la cumbre del cerro San Ignacio, en la estancia Bosque Alegre cercana a la ciudad de Córdoba. La montura del telescopio y la cúpula que lo albergaría se solicitaron a la compañía Warner & Swasey de EE. UU., a la par que en la sede del ONA se inició el tallado del espejo primario. En estos años se adquirieron diversos instrumentos destinados a la medición de placas fotográficas espectroscópicas y fotométricas (Minniti y Paolantonio, 2009).

Para salvar la falta de un telescopio de respaldo, se diseñó y construyó en la institución un reflector de 76 cm de diámetro, el primero de gran tamaño realizado en Argentina. Entró en servicio a fines de 1917 y permitió extender los estudios astrofísicos en esta etapa (Paolantonio, 2011).

En 1910 se contrató al espectroscopista Sebastian Albrecht (1876-1857?), también del Lick Observatory y ex compañero de Perrine. Albrecht realizó un importante trabajo analizando longitudes de onda para medir las velocidades radiales de estrellas, empleando observaciones re-

3 Desde 1903 gestionaba una expedición dedicada a la medición de velocidades radiales estelares instalada en Santiago de Chile, con un reflector de 92 cm. El Harvard Observatory también había instalado en 1890, en Arequipa (Perú) instrumental para la realización de observaciones fotográficas y fotométricas. Ambas estaciones cerraron en 1928.

alizadas en el Lick (Albrech, 1911). Por diferencias con Perrine renunció en 1912, y a partir de ese momento estas tareas fueron asumidas por el director (Minniti y Paolantonio, 2009).

En este período se realizaron numerosas investigaciones astrofísicas; las principales fueron:

- En 1910, observaciones espectroscópicas del cometa Halley, empleando cámaras con prisma objetivos, y una extensa secuencia de fotometría fotográfica. Las reducciones se prolongaron varios años y recién fueron publicadas en 1934 (Paolantonio, 2010).

- Entre 1913 y 1921, los astrónomos Enrique Chaudet (1881-1967) y Maximino Esteban efectuaron determinaciones fotométricas de las estrellas de la zona sur del catálogo Córdoba Durchmusterung, empleando un fotómetro de cuña facilitado por Edward Pickering (Paolantonio, 2021).

- Expediciones para el estudio de eclipses solares, en 1912 a Brasil, 1914 a Crimea y en 1916 a Venezuela. En éstas se previeron estudios espectroscópicos y fotométricos de la corona solar. En las primeras dos se intentó por primera vez realizar placas fotográficas para confirmar una de las predicciones de la teoría de Einstein. Las malas condiciones climáticas y el inicio de la Gran Guerra impidieron llevar a cabo estos trabajos (Paolantonio y Minniti, 2007).

- El más importante y extendido de los estudios, principalmente realizados entre 1915-1917 y 1936, fue la obtención de fotografías y espectros de nebulosas planetarias, cúmulos globulares y nebulosas espirales. También se observaron estrellas de tipos espectrales A y B, novas y Wolf Rayet. Para estos trabajos se utilizaron principalmente el telescopio de 76 cm y el Astrográfico (Minniti y Paolantonio, 2009).

A partir de observaciones propias y de las efectuadas en otros observatorios, se publicaron más de sesenta artículos en diversas revistas internacionales.

El extenso trabajo fotográfico, que en su momento se hubiera constituido en el primer gran catálogo de objetos nebulosos australes, nunca fue publicado en conjunto. La razón puede encontrarse en la necesidad de cumplir con proyectos internacionales, como la Carte du Ciel y los catálogos de la Astronomische Gesellschaft, algunos serios problemas políticos y la falta de presupuesto que afectaron la gestión de Perrine, así como su mala salud. Seguramente influyó que el director nunca perdió la esperanza de emplear el reflector de 1,5 m para completar estos estudios.

La Gran Guerra, dificultades para configurar la superficie del espejo y diversos problemas institucionales, llevaron a que al momento de la jubilación de Perrine ocurrida en 1936, el gran telescopio aún no estuviera en funcionamiento. El edificio y la cúpula estaban listos y el instrumento armado, pero aún faltaba finalizar el espejo primario.

El telescopio recién fue puesto en servicio en 1942. Posteriormente, Martín Dartayet (1904-1971) reinició las fotografías de cúmulos globulares a partir de lo realizado por Perrine, y en 1966, Carlos Fourcade (1927-1993), José Laborde y Julia Albarracín publicaron el Atlas y Catálogo de Estrellas Variables en Cúmulos Globulares al Sur de -29° , en el que se incluyeron estas placas. En 1968 vio la luz el Atlas de Galaxias Australes de José Luis Sésic (1933-1993), en el que también se emplearon parte de las placas obtenidas por Perrine. Estos trabajos muestran que, al menos parcialmente, lo realizado en la etapa anterior fue recuperado.

Por otra parte, la gran cantidad de fotografías obtenidas en este primer período, constituyen actualmente un material científico muy valioso, resguardado por la Biblioteca del Observatorio Astronómico de Córdoba, el cual se encuentra en proceso de digitalización.



Figura 3. Telescopio reflector de 76 cm construido en el ONA (Archivo OAC).

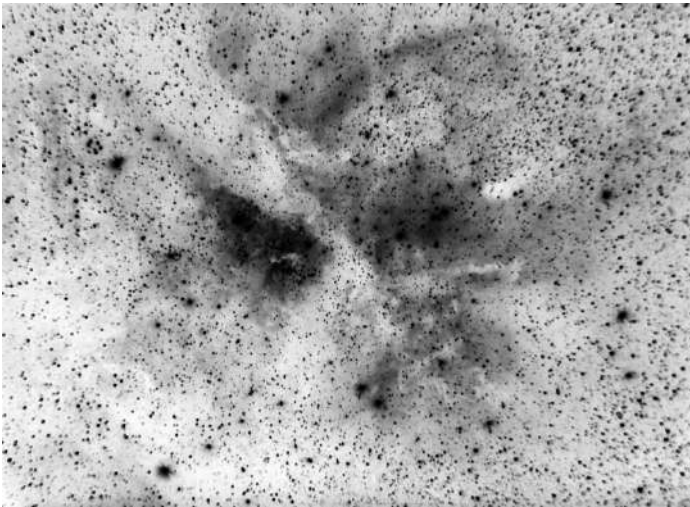


Figura 4. Fotografía obtenida con el telescopio de 76 cm de la región de la estrella Eta Carinae, 14/2/1918 (Archivo OAC).

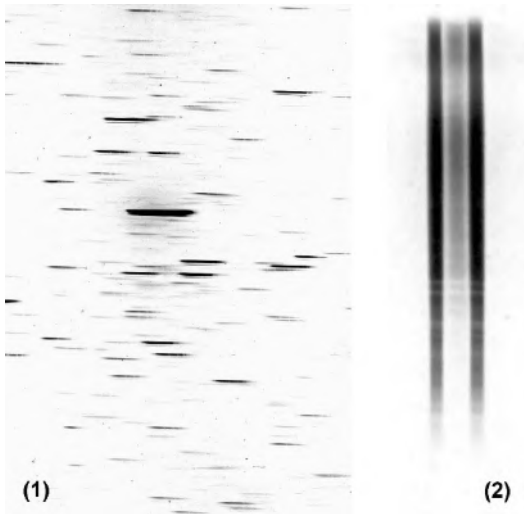


Figura 5. (1) Espectros estelares obtenidos con el Astrográfico y prisma objetivo el 25/7/1919 (NGC 6397). (2) Espectro de NGC 2808 realizado en 1933 (Archivo OAC).

Observatorio Astronómico de La Plata (1911-1942)

En 1906 asume la dirección del OALP el italiano Francesco Porro de Somenzi (1861-1937), al que le sigue en 1911 William Hussey (1862-1929). En esta época se estableció en la institución el doctorado en astronomía, que incluyó una cátedra de “Astrofísica” asignada al astrónomo Paul Delavan (1888-1949). En 1915, asumió la dirección Félix Aguilar (1884-1943), quien encargó la construcción de un espectroscopio para el telescopio refractor. Si bien en este período se propone impulsar las investigaciones astrofísicas, no se registran trabajos en esta área.

En 1921 asume Johannes Hartmann (1865-1936), astrofísico alemán. En esta época se reorganiza la institución incluyendo explícitamente entre sus objetivos los estudios astrofísicos. Se encarga un nuevo espectroscopio y se inicia la modificación del reflector de 80 cm que no tenía buena ima-

gen, cambiando su configuración al tipo Cassegrain. Las modificaciones terminan a fines de 1930, aunque deberá esperarse hasta 1934 para que, luego de corregirse un defecto del espejo secundario, entre finalmente en uso permanente (Gaviola, 1943; p.270). También se adquirieron diversos instrumentos específicos para mediciones de placas fotográficas fotométricas y espectrométricas (Gershanik, 1979, pp.35-36).

En 1921 Bernard Dawson (1890-1960) efectúa observaciones de estrellas variables con el gran refractor. En 1925 se estudió la Nova Pictoris, empleando una cámara con un espectroscopio de un solo prisma adosada al Astrográfico.

Al asumir en 1934 como director nuevamente Aguilar, se contrató personal especializado, tal el caso del físico Enrique Gaviola (1900-1989) y del profesor Alexander Wilkens (1881-1968), el que asume la cátedra de Astrofísica. A partir de 1938, se avanza en las observaciones de espectroscopía fotográfica de estrellas dobles del sur (Wilkens, 1944; Sahade, 1944), estadística estelar fotométrica y el seguimiento de estrellas variables (Gershanik, 1979, pp.50-51).

Una nueva etapa

Hasta el momento, a excepción de una muy escasa bibliografía (Landi Dessy, 1970), en general se han desconocido o subestimado los aportes a la astrofísica realizados durante la dirección de Charles Perrine y, en particular, las intenciones para desarrollar este tipo de estudios desde la creación de los primeros observatorios del país.

Como se evidencia a partir de lo desarrollado con anterioridad, los trabajos astrofísicos se identifican en los orígenes mismos de la astronomía profesional en Argentina.

Su desarrollo fue progresivo y desemboca en 1942, con la inauguración de la Estación Astrofísica de Bosque Alegre, durante la gestión de Enrique Gaviola, quien había ingresado al ONA cuatro años antes, ocupando el recién creado puesto de "Astrofísico". Gaviola no solo posibilitó la terminación del gran espejo⁴, también perfeccionó el telescopio, al igual que sus instalaciones complementarias.

4 El espejo fue enviado al óptico James Fecker (1891-1845) en EE. UU. para su terminación. Luego de meses de trabajo, Fecker no lograba configurar el espejo,

A pesar que el reflector de 1,5 metros no pudo ser aprovechado por su mentor, el Dr. Perrine, sí lo fue por las posteriores generaciones de astrónomos argentinos y extranjeros que le siguieron. Su puesta en servicio marcó un hito, dado que fue un instrumento clave para llevar adelante investigaciones astrofísicas en la región, a la vez que marcó una continuidad entre los inicios de esta disciplina y su posterior desarrollo.

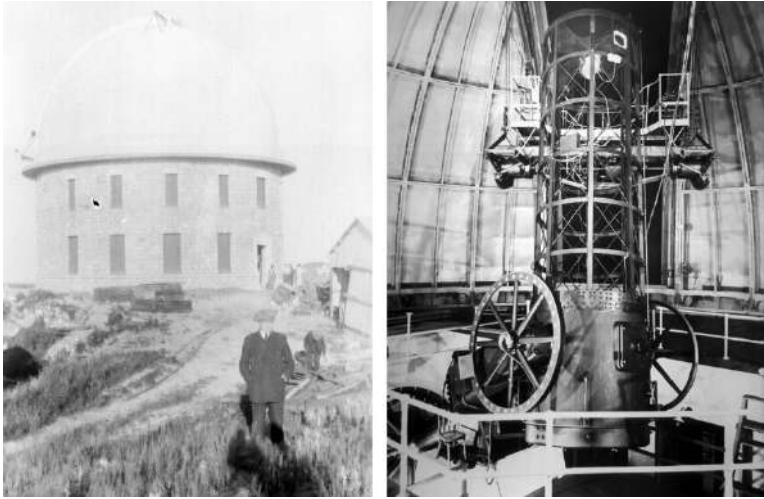


Fig. 6. Refugio del reflector de 1,5 m en 1931, al frente, Charles Perrine. Derecha, el telescopio poco antes de su inauguración (Archivo OAC)

Agradecimientos

A las autoridades del Observatorio Astronómico de Córdoba y su Museo, por facilitar el acceso a parte de la documentación empleada en este texto. A Maximiliano Bozzoli por su lectura crítica de este artículo.

y solo la intervención de Gaviola hizo posible su finalización (Gaviola, 1940; Paolantonio, 2017).

Bibliografía

- Albrecht, S., 1911, On a quantitative method for determining the spectral types of the brighter stars. *Astrophysical Journal*, **33**, 130-140.
- Comte, A., 1835, *Cours de philosophie positive*, Tome 2. Paris: Au Siège de la Société Positiviste. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bp-t6k762681/f9.item>
- Gaviola, E., 1940, La terminación del espejo principal del gran reflector de Bosque Alegre. *Revista Astronómica*, XII(III), 141-155.
- Gaviola, E., 1943, Instrument Making at the Córdoba Observatory. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 55(327), 270-273.
- Gould, B. A., 1871, *Informe al Ministro del año 1870*. pp. 78-92, Libro copiadador A, 24/5/1871. Archivo Observatorio Astronómico de la Universidad Nacional de Córdoba.
- Gould, B. A., 1873, *Informe al Ministro del año 1872*. 28/02/1873, Libro Copiadador A, pp. 458-475. Archivo Observatorio Astronómico de la Universidad Nacional de Córdoba.
- Gould, B. A., 1875, *Informe al Ministro del año 1874*. 27/3/1875, Libro Copiadador B, pp. 206-225. Archivo Observatorio A de la Universidad Nacional de Córdoba.
- Gould B. A., 1881, *Observaciones del año 1872 (Vol. 2)*. Resultados del Observatorio Nacional Argentino, Imprenta de la Universidad Nacional de Córdoba.
- Gould, B. A., 1882, *Informe al Ministro del año 1881*. 4/5/1882, Libro Copiadador C, pp. 89-107. Archivo Observatorio Astronómico de la Universidad Nacional de Córdoba.
- Hussey, G. J., Delavan, P. T. y Dawson, B. H., 1914, *Descripción general del Observatorio, su posición geográfica, y observaciones de cometas*

y de estrellas dobles (Vol. 1). Publicaciones del Observatorio Astronómico de la Universidad Nacional de La Plata.

Kragh, H., 2008, *Historia de la cosmología. De los mitos al universo inflacionario*. Editorial Crítica.

Minniti, R. y Paolantonio, S., 2009, *Córdoba Estelar. Historia del Observatorio Nacional Argentino*. Observatorio Astronómico de Córdoba. Editorial de la Universidad.

Minniti Morgan E. R., 2010, El nacimiento de la astrofísica en Chile. Historia del Observatorio Foster. *Historia de la Astronomía*. <https://historiadelastronomia.files.wordpress.com/2010/02/observatorio-foster.pdf>

Landi Dessy, J., 1970, Charles Dillon Perrine y el desarrollo de la Astrofísica en la República Argentina. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias*, 48, 219-234.

Paolantonio, S. y Minniti, E., 2009, Historia del Observatorio Astronómico de Córdoba en G. E. Romero, S. A. Cellone y S. A. Cora (Ed.), *Historia de la Astronomía Argentina Book series* (Vol. 2, pp. 51-167). Asociación Argentina de Astronomía.

Paolantonio, S. y Minniti, E., 2001, *Uranometría Argentina 2001. Historia del Observatorio Nacional Argentino*. SECyT y OAC UNC.

Paolantonio, S. y Minniti, E., 2008, Fotografías Cordobesas. Obra pionera de fotografía astronómica en Latinoamérica y el mundo. *Revista Universo*, 54/55, 11-18.

Paolantonio, S. y Minniti, E., 2007, Intentos argentinos para probar la teoría de la relatividad en G. Dubner, M. Rovira, A. Piatti y F. A. Bareilles (Ed.), *Boletín de la Asociación Argentina de Astronomía* (Vol. 50, pp. 359-362). Asociación Argentina de Astronomía.

- Paolantonio, S., 2010, A un siglo del paso del cometa Halley. *Historia de la Astronomía*. <https://historiadelaastronomia.wordpress.com/documentos/a-un-siglo-del-halley/>
- Paolantonio, S., 2011a, Charles D. Perrine, desde el Lick Observatory al Observatorio Nacional Argentino. *Historia de la Astronomía*. https://historiadelaastronomia.wordpress.com/astronomos-argentinos/perrine_designacion/
- Paolantonio, S., 2011b, El primer gran telescopio construido en Argentina nuevamente en Córdoba. *Historia de la Astronomía*. <https://historiadelaastronomia.wordpress.com/primer-gran-telescopio-en-cordoba/>.
- Paolantonio, S., 2012a, Primeros espectroscopios adquiridos por el Observatorio Nacional Argentino. *Historia de la Astronomía*. <https://historiadelaastronomia.wordpress.com/documentos/espectroscopios/>.
- Paolantonio, S., 2012b, Fotómetro Zöllner del Observatorio Nacional Argentino. *Historia de la Astronomía*. <https://historiadelaastronomia.wordpress.com/documentos/fotozoellner/>
- Paolantonio, S., 2017, Historia de un espejo. Un largo camino para el espejo de Bosque Alegre. *Historia de la Astronomía*. <https://historiadelaastronomia.wordpress.com/documentos/historiaespejo/historiaespejo1>
- Paolantonio, S., 2021, Fotómetro de cuña. Empleado en la medición del casquete polar de la Córdoba Durchmusterung. *Historia de la Astronomía*. <https://historiadelaastronomia.wordpress.com/documentos/fotcuna>
- Sahade J., 1944, Determinación de las intensidades de las líneas H δ , G, H γ y H β en los espectros estelares. *Observatorio Astronómico de La Plata Serie Astronómica*, 20(2), 37-41.

Wilkins, A., 1944, Determinaciones de temperaturas espectrográficas de estrellas dobles. *Observatorio Astronómico La Plata Serie Astronómica*. 20(1), 1-34.



Expertos en la oscuridad. Datos, archivos y cómo usarlos

Julián Reynoso*

Resumen

La posibilidad de recolectar y acumular grandes volúmenes de datos en el auge de lo que se supo denominar *data deluge* vino acompañada también un despliegue de infraestructura y estrategias para poder manejar semejante diluvio sin precedentes. Esto también trajo aparejado numerosos problemas, tanto epistemológicos como metodológicos. En este sentido, son numerosas las propuestas que señalan la necesidad de crear y formar profesionales cuya principal responsabilidad sea la de curar los datos recopilados y almacenados, no como una sub-tarea de la investigación sino como una especialidad en sí misma. Schembera & Duran (2020) proponen la creación de un Chief Data Officer en los centros de supercomputación, mientras que Leonelli (2013, 2018) por su parte propone la necesidad de incorporar las habilidades necesarias para la curación de datos no como una habilidad de un técnico sino como una rama de la investigación científica.

Palabras clave: *archivo, big data, experticia humana, curación de datos, datos oscuros.*

Abstract

Having the possibility of collecting and accumulating large volumes of data, christened “big data”, was accompanied by a deployment of infrastructure and strategies to handle such an unprecedented volume of data. This also brought with it several problems, both epistemological and methodological. In this sense, there are numerous proposals that point to the need to create and train professionals whose main responsibility is to

* Centro de Investigaciones de la Facultad de Filosofía y Humanidades (UNC) – Instituto de Humanidades (CONICET).

curate the data collected and stored, not as a sub-task of research but as a specialty. Schembera & Duran (2020) propose the creation of a Chief Data Officer in supercomputing centers, while Leonelli (2013, 2018) proposes the need to incorporate the necessary skills for data curation not as a technician's skill but as a branch of scientific research.

Keywords: *archive, big data, human expertise, data curation, dark data.*

Introducción

La astronomía no es ninguna extraña a las complejidades que implica el manejo de grandes volúmenes de datos, con múltiples procedencias y amplios períodos temporales. Desde la temprana modernidad ha sido posible observar un proceso paulatino de estandarización, que se consolidó a mediados del siglo XX. Un informe de 1998 del Sistema de Datos Astrofísicos (ADS) de la NASA catalogaba como “antiguos” aquellos datos que hubieran sido obtenidos antes de 1940 (cf. Kurtz y Eichhorn, 1998, p. 293)

El proceso de acumulación de datos, registros y observaciones se incrementó exponencialmente gracias a las posibilidades que abrieron los numerosos avances en la tecnología de sensores, capacidad de cómputo y almacenamiento que comenzaron en la segunda mitad del Siglo XX. Un verdadero “diluvio de datos” que empapó a prácticamente todas las disciplinas científicas. La astronomía no solo no fue la excepción, sino que en muchos casos estuvo a la vanguardia del proceso.

En la última década, sin embargo, han surgido numerosas promesas de sistemas automáticos que permitirían obtener resultados inesperados y novedosos a partir del mero *input* de datos y simulaciones. El advenimiento del “diluvio de datos”, sumado a avances en *machine learning* y otras áreas de inteligencia artificial generaron grandes expectativas en torno a una potencial revolución en la manera de hacer ciencia.

En el presente trabajo propongo analizar algunas de estas promesas a la luz de la noción de experticia humana, con la intención de rescatar algunas de las dificultades que la automatización por vía de *machine learning* no pueden aún sortear.

Experticia

La noción de experticia ha recibido muchos aportes desde distintos pensadores que han trabajado en áreas como la filosofía de la mente, teoría de la acción y teoría del conocimiento. Gilbert Ryle, por ejemplo, contribuyó con la distinción entre “saber qué” y “saber cómo”, en sus trabajos a finales de la década de 1940.

Polanyi (1958) contribuyó a su estudio, partiendo de la idea de que pareciera haber un “conocimiento tácito”, donde vertió estudios desde la sociología, la psicología y la filosofía. Harry Collins fue, sin embargo, quién más elaboró a partir de los trabajos de Polanyi y propuso dos definiciones sobre el conocimiento tácito. Una versión débil, como “aquello que no es explícito ni expresado de manera directa”. La versión más fuerte ya impone una cláusula de imposibilidad: aquello que no *puede* ser explícito o explicitado.

En trabajos posteriores en colaboración con Evans (H. M. Collins y Evans, 2007) vinculan fuertemente la noción de experticia con la socialización lingüística, con la idea wittgensteniana de “formas de vida”, pero que podríamos resumir en el conjunto de prácticas, hábitos y costumbres que se dan en el centro de investigación. Así, plantean un giro sociológico dentro del campo de estudio de la experticia al defender que el aprendizaje y la práctica constante que llevan a un novato a convertirse en experto solo son posibles si se dan en una comunidad social de expertos. En consecuencia, el experto es quien que logra convertirse en un miembro de un determinado grupo social, compartiendo un lenguaje común y aprendiendo las maneras de actuar apropiadas y aceptadas por tales. (cf Collins y Evans, 2018; Mondaca y Reynoso, 2022).

Otro gran afluente de estos estudios proviene de intentar comprender la experticia humana a la luz de la experticia en las máquinas, un campo que se conoce como *expert systems* en el que se intenta emular las capacidades de toma de decisión de expertos humanos en dominios específicos. Esto significa que requería un gran esfuerzo programar estos sistemas y su aplicabilidad está muy constreñida al dominio, lo que los pone en relativa desventaja en relación a otros medios automatizados de trabajo con pretensiones de generalidad. Los sistemas expertos deben ser cuidadosamente ajustados para cada dominio, lo que hace difícil reutilizarlos luego en otros dominios.

La práctica de los sujetos expertos se encuentra siempre inserta en una práctica social más amplia. De tal manera, los sistemas expertos que han mostrado un nivel de rendimiento igual o superior al de sujetos expertos no pueden considerarse como ejemplos de experticia hasta tanto no adquieran el nivel de socialización propio de expertos humanos -lo cual, para Collins, no puede ser alcanzado por máquinas (Mondaca y Reynoso, 2022).

La noción de experticia interactiva se termina de comprender en 2013, donde Collins presenta un artículo muy sugerente que reúne sus tesis de los últimos veinte años bajo lo que el autor denomina el modelo tridimensional de la experticia. (Mondaca en prensa, 2022)

En filosofía de la ciencia, sin embargo, estas discusiones sobre experticia no han sido incorporadas al canon de estudio sino hasta algunos años, por lo que resulta una noción fértil para incorporar en estudios centrados en prácticas científicas.

Trabajo de archivo en astronomía

La historia del material de archivo en astronomía es larga y no sería una exageración ligarla al desarrollo de la escritura cuneiforme en Babilonia. Los estudiosos en la antigua Grecia primero, y en el imperio romano después es maravillarían por el enorme caudal de observaciones que habían acumulado. Es difícil no preguntarse, entonces, qué pensarían de las enormes cantidades de datos que la disciplina recolecta y acumula en nuestros días. Según el trabajo realizado por Kremer et al. (2017), se estima que por cada noche de observación, el *Very Large Telescope* del Observatorio Europeo Austral era capaz de recolectar hasta 10 GB. El *Sloan Digital Sky Survey*, operativo apenas dos años después que el VLT en el año 2000, ya alcanzaba los 200 GB por noche. Si bien aún no operativos, el Observatorio Vera C. Rubin podría ser capaz de generar hasta 30 TB¹, mientras que el *Thirty Meter Telescope* podría generar hasta 90 TB. Es notorio, sin embargo, poder trazar ciertos paralelos entre el estado de la astronomía a mediados del siglo XVII y la actualidad. El desarrollo de nuevas tecnolo-

1 [[^]1]: A modo de referencia, 1 TB (terabyte) de almacenamiento equivale a 1024 GB (gigabytes).

gías permitió fabricar nuevas lentes e instrumentos que abrieron la puerta a un caudal de nuevas observaciones, que ponían en cuestión el “estado del arte” de los conocimientos en aquella época. Hsia (2017) Argumenta que esto también obligó a un desarrollo en las formas en las que dicha información era almacenada, curada y puesta en a disposición (en la mayoría de los casos) a otros investigadores ávidos de corroborar las mediciones que habían realizado sus colegas. Nuevos estándares fueron fijados, a través de una red intrincada de correspondencia personal en la que se intercambiaban protocolos de observación, datos en varias maneras y detalles del instrumental utilizado. Así, lentamente, se fue constituyendo un *canon* archivístico de observaciones, incrementado generación tras generación de astrónomos. La estandarización de los registros y las ansias por socializar Esta tendencia continúa hoy en día, con un caudal de información vastamente superior. En palabras de Hsia:

Sin embargo, un reto clave para los astrónomos contemporáneos que trabajan en la vanguardia de la “ciencia intensiva en datos” -el llamado “cuarto paradigma” de la investigación científica- es uno con el que sus predecesores han luchado durante mucho tiempo: cómo capturar, conservar y analizar datos empíricos. (Hsia, 2017, p. 37)

El gran diluvio de datos que lo empapa todo

El concepto de “*big data*” ha sido empleado de muchas maneras muy distintas como una forma de agrupar una serie de avances en materia de captura, almacenamiento y procesamiento de datos de procedencias muy diversas.

En torno a dicho concepto se elaboraron múltiples promesas sobre cómo revolucionaría la comprensión del mundo, optimizaría toma de decisiones, mitigaría los riesgos e incluso mejoraría la calidad de los datos obtenidos. *Big data* fue presentado como un hito histórico a la altura de la revolución industrial del siglo XIX o la revolución científica del siglo XVIII.

El impacto más grande fue en los sectores tecnológicos e industriales, donde la promesa de mitigación de riesgos y optimización caló hondo, sin embargo, la fanfarria fue tal que el despliegue también llegó a disciplinas científicas.

Expresiones maximalistas, por no decir exageradas, fueron planteadas (y rápidamente ignoradas por la comunidad científica) como las de Chris Anderson quien llegó a afirmar que gracias al big data sería posible prescindir del método científico. Esta versión radical, se monta en la idea de que -Ley de Los Grandes Números mediante- con suficientes muestras, los errores y la incerteza deberían tender a cero. Hubo, sin embargo, expresiones más moderadas como “El Cuarto Paradigma” de Jim Gray, una metodología basada en la noción de ciencia *data-intensive*, que consiste en la captura, curación y análisis de grandes cantidades de datos (Hey et al., 2009). Aquí “paradigma” no está usado en un sentido kuhniano, menos aún si tenemos en cuenta que muchos de quienes proponen esta metodología la consideran complementaria a los “antiguos paradigmas” que Gray considera: el empírico-observacional, teórico-analítico y un tercero de simulaciones a gran escala.

El atractivo es evidente a primera vista. Succi y Coveney (2019) lo resumen en cuatro puntos:

- 1) El crecimiento exponencial en la capacidad de producción, adquisición y navegación de los datos.
- 2) Rastrear patrones de bases de datos complejas a través de algoritmos de búsqueda “inteligente” promete ser más rápido y reveladora que la modelización del comportamiento subyacente (es decir, usar teorías)
- 3) Puede aplicarse a cualquier disciplina (y la astronomía es un hermoso ejemplo). Pero incluso en aquellas que tradicionalmente no han sido muy susceptibles al tratamiento matemático. (Succi y Coveney dicen que es una forma de sugerir que estos dominios son muy complejos para ser modelados).
- 4) Pueden tener aplicación “inmediata” (lo que trae todo un conjunto de complicaciones éticas, en las que no me explayaré a los efectos de este trabajo)

Sin embargo, las promesas de semejante revolución probaron ser, en el mejor de los casos, una expresión de deseo que hasta ahora no ha estado

a la altura del revuelo que causó. Las disciplinas científicas han mostrado ser bastante menos permeables a “comprar” las promesas de las propuestas más radicales en torno a big data. Es importante aclarar también que esto no significa que no se hayan adoptado un gran conjunto de métodos y técnicas de filtrado que hacen una primera gran “zaranda” de datos, que luego son puestos a disposición de los investigadores. Y es aquí donde se introduce una gran fuente de nuevos problemas que no son susceptibles de ser tratados por vías automatizadas.

Dark data y archivos fragmentarios

La noción de “experticia” que expuse en el primer apartado resulta de gran utilidad, puesto que permite comprender algunas implicancias intrínsecas al trabajo que llevan adelante los investigadores en sus centros. Menciono esto porque la literatura que ha trabajado big data en contextos científicos se ha centrado en ensalzar los beneficios, sin tener en cuenta algunas consecuencias no deseables. De manera contraintuitiva es posible observar cómo la digitalización de los registros y los datos ha causado que, en muchos casos, se pierdan o queden inutilizables por distintos aspectos de la infraestructura. En un artículo reciente Schembera y Durán (2020) exponen algunas de estas dificultades. Big data, dicen los autores, se enfoca en aquellos datos que están disponibles a los distintos usuarios. Sin embargo, el caudal de datos es tal que en muchas ocasiones queda inaccesibles a los usuarios y se los denomina “dark data”, término que los autores toman de (Heidorn, Stahlman, y Steffen, 2018), pero señalan que no es apta para entornos de computación de alto rendimiento (como sería el caso de los grandes observatorios ya mencionados). Esto obedece a múltiples razones, algunas tan mundanas como fallas en los equipos que los almacenan o que el investigador proceda de manera descuidada, sin usar correctamente las etiquetas (metadatos) que permiten clasificarlos y ordenarlos. El fenómeno del *bit rot*, la paulatina desintegración de los datos que quedan guardados en distintos medios de almacenamiento es también otro factor a tener en cuenta. El CERN, por ejemplo, mantiene grandes colecciones de datos en cintas magnéticas por las ventajas que ofrece en almacenamiento a largo plazo². La diferencia fundamental entre la noción

2 Cf.: <https://home.cern/science/computing/storage>

de Heidorn, Stahlman, y Steffen (2018) y la de Schembera y Durán (2020) radica en el interés del primero en la “larga estela de la ciencia”, en un conjunto grande de proyectos más bien pequeños cuya producción de datos puede ser más manejable siguiendo ciertos protocolos bien establecidos. Para los segundos, en cambio, el foco está puesto en investigación de Centros de Computación de Alto Rendimiento en los que el equipamiento y la infraestructura utilizada es específica y determinada.

Un aspecto no menor a tener en cuenta en torno al trabajo cotidiano de los investigadores es la potencial pérdida y fragmentación de los archivos que cada uno almacena y custodia, a veces sin tener plena conciencia de ello, en las nubes y computadoras personales de cada uno. La digitalización de los archivos, a pesar de sus innumerables ventajas, ha llevado a que muchos de estos archivos queden “congelados” o atrapados en las cuentas personales de almacenamiento en la nube. Esto es un fenómeno relativamente novedoso, dado que no siempre es fácilmente accesible para terceras personas, por razones de privacidad y custodia de datos personales.

No da lo mismo un sistema experto que una persona experta

En base a lo visto hasta ahora, es posible afirmar que el excesivo optimismo inicial que hubo en estrategias automatizadas para procesar los grandes volúmenes de datos que continúan produciéndose en las diversas disciplinas científicas no fue acompañado de un gran éxito en la tarea. Esto no quiere decir que los métodos de *machine learning* no sean de utilidad, como hemos visto en las secciones anteriores no sería posible manejar tal diluvio de datos si no hubiera filtros algorítmicos y otros métodos automatizados para procesarlos.

Sin embargo, quiero dedicar las últimas secciones de este trabajo para rescatar la noción de experticia que mencioné anteriormente para poner en otro contexto la medida respecto de las posibilidades que desarrollos en IA ofrecen en contextos científicos. Puntualmente, han surgido diversas propuestas en relación a la necesidad de respaldar, tanto con financiamiento como también con líneas de formación, trayectos de carrera especializados en manejo de datos.

Una característica central de la noción de dark data que mencionamos anteriormente la forma en la que plantea la necesidad de convertir el manejo de archivos en una prioridad para las instituciones, en lugar de

delegar esa tarea a los investigadores. El *Scientific Data Officer* (“Responsable de Datos Científicos”) [^2] que proponen (Schembera y Durán, 2020) será un nuevo sendero profesional dentro de las instituciones científicas, que actuará como intermediario entre investigadores, administrativos y directivos con la principal responsabilidad de almacenar, curar y preservar los datos dentro de un centro de computación de alto rendimiento. Esto permitiría relevar a los investigadores de esta tarea, que tiende a percibirse como de segundo orden, dada la presión cada vez mayor en concentrarse en publicaciones. Si bien cada vez más organismos de financiación requieren poner a disponibilidad de la comunidad los datos primarios empleados en las investigaciones, tal requerimiento rara vez se acompaña con infraestructura adecuada en términos institucionales para realizar esa tarea. [^2]: La traducción es mía.

Por su parte, aunque si bien basada en su experiencia como investigadora en ciencias de la vida, Leonelli (2014) rescata la figura del *curador* como responsable del correcto etiquetado de los metadatos que sirven para catalogar los datos que surgen de las investigaciones. La autora pone gran énfasis en la interoperabilidad y puesta a disposición de la comunidad científica a través de la iniciativa FAIR que apunta a optimizar el manejo y la administración de datos, de forma tal de hacerlos. La sigla significa *Findability, Accessibility, Interoperability, and Reuse* (encontrables, accesibles, interoperables y reutilizables).

Estas iniciativas apuntan a brindar a la comunidad científica la mayor cantidad de datos, debidamente curados y etiquetados, aprovechando al máximo el diluvio sin precedentes que se está generando diariamente. La posibilidad de desarrollar nuevos trayectos profesionales dentro de los centros descongestiona la agenda de los investigadores que ya no deberán encargarse del archivo, lo que disminuirá las posibilidades de sub-utilización de los recursos, al tiempo que permitirá una mayor interoperabilidad entre grupos de investigación. Aquí vuelve a reflotar la dimensión social de la noción de experticia de Collins y la necesidad de incorporar aspectos idiosincráticos a la hora de diseñar e implementar sistemas de archivo y socialización de datos.

Bibliografía

- Collins, H. M., y Robert Evans. 2007. *Rethinking Expertise*. Chicago: University of Chicago Press.
- Collins, Harry, y Robert Evans. 2018. "A Sociological/Philosophical Perspective on Expertise: The Acquisition of Expertise Through Socialization." In *The Cambridge Handbook of Expertise and Expert Performance*, edited by A. Mark Williams, Aaron Kozbelt, K. Anders Ericsson, y Robert R. Hoffman, 2nd ed., 21–32. Cambridge Handbooks in Psychology. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781316480748.002>.
- Heidorn, P. Bryan, Gretchen R. Stahlman, y Julie Steffen. 2018. "Astrolabe: Curating, Linking, and Computing Astronomy's Dark Data." *The Astrophysical Journal Supplement Series* 236 (1): 3. <https://doi.org/10.3847/1538-4365/aab77e>.
- Hsia, Florence. 2017. "Astronomy After the Deluge." In *Science in the Archives: Pasts, Presents, Futures*, edited by Lorraine Daston, 17–52. University of Chicago Press. <https://doi.org/10.7208/9780226432533-003>.
- Kremer, Jan, Kristoffer Stensbo-Smidt, Fabian Gieseke, Kim Steenstrup Pedersen, y Christian Igel. 2017. "Big Universe, Big Data: Machine Learning and Image Analysis for Astronomy." *IEEE Intelligent Systems* 32 (02): 16–22. <https://doi.org/10.1109/MIS.2017.40>.
- Kurtz, Michael J., y Guenther Eichhorn. 1998. "The Historical Literature of Astronomy, via ADS" 153 (January): 293. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1998ASPC..153..293K>.
- Leonelli, Sabina. (2014). "What difference does quantity make? On the epistemology of Big Data in biology". *Big Data & Society*, 1(1), 205395171453439. <https://doi.org/10.1177/2053951714534395>
- Mondaca, Sofia, y Julián Reynoso. 2022. "Experticia Humana y Opacidad Epistémica En Contextos de Prácticas Científicas." In *Filosofía de La*

Ciencia Por Jóvenes Investigadores Vol. 2, editado por María Paula Buteler, Ignacio Heredia, Santiago Marengo, y Sofía Mondaca, 2:117–26.

Polanyi, Michael. 1958. *Personal knowledge; towards a post-critical philosophy*. Chicago: University of Chicago Press.

Schembera, Björn, y Juan M. Durán. 2020. “Dark Data as the New Challenge for Big Data Science and the Introduction of the Scientific Data Officer.” *Philosophy & Technology* 33 (1): 93–115. <https://doi.org/10.1007/s13347-019-00346-x>.

Succi, Sauro, y Peter V. Coveney. 2019. “Big Data: The End of the Scientific Method?” *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 377 (2142): 20180145. <https://doi.org/10.1098/rsta.2018.0145>.



El joven Beck y la física teórica

Víctor Rodríguez*

Resumen

El trabajo presentado está relacionado con la primera parte de la producción científica de Guido Beck, correspondiente a la década de 1920 y asociada con la relatividad general. Intentando dar un contexto ampliado, se ubican sus investigaciones en el marco de la época. Se cuenta de modo breve su relación con la historia de las ondas gravitacionales. También se intercalan breves reflexiones tardías suyas sobre posibles interpretaciones de ciertos episodios comentados.

Palabras clave: *Observatorio Astronómico de Córdoba; el joven Beck; relatividad general; soluciones exactas; Einstein.*

Abstract

This paper is related to the first part of the scientific work of Guido Beck, corresponding to the decade of 1920 and associated with the theory of general relativity. Considering that epoch, his production is related to the cultural environment of the discipline. Additionally, his role in the history of the gravitational waves is taken into account. Some of his posterior thoughts are considered, especially in relation to possible interpretations of the main episodes described in the text.

Keywords: *Astronomical Observatory of Cordoba; The young Beck; general relativity; exact solutions; Einstein.*

Introducción

En la interesante historia del Observatorio Astronómico de Córdoba, numerosos científicos merecerían un homenaje especial, por su trayectoria y por sus condiciones humanas. Se ha elegido aquí a Guido Beck

* Facultad de Filosofía y Humanidades (FFyH) - Universidad Nacional de Córdoba (UNC).

[1903-1988] por tres razones principales: por su estatura intelectual, por la relativamente reciente aparición de su nombre en la historia de las ondas gravitacionales y de la relatividad general (RG en adelante) y en tercer lugar, porque comparto la expresión de Alberto Maiztegui de que a pocos científicos la Argentina le debe tanto.

Dado que este físico ha recibido mucha atención, nos centramos aquí en su período temprano, relacionado con la RG. Este período es digno de análisis por su capacidad productiva. Se puede apreciar en él su talento de un modo especial, sin los avatares que lo llevaron a su movimiento errático por el mundo, producto mayormente de causas ambientales externas a su voluntad.

En Brasil y Argentina le han reconocido su influencia de diversos modos. En Brasil, Passos Videira ha desarrollado un trabajo notable en torno de sus escritos y correspondencia (Passos Videira y Puig, 2020). En Argentina, su obra e influencias han sido tenidas en cuenta de diversos modos. En los comentarios de Mario Bunge; en escritos relacionados con capítulos de la historia de la ciencia argentina; en testimonios de historiadores y colegas suyos en nuestro país. Ver al respecto (López Dávalos y Badino, 2000; Bernaola, 2001; Díaz et al., 2021).

Como ya expresé, en esta ocasión, voy a prestar atención a su obra temprana vinculada con la RG. Me voy a centrar en aspectos de su producción en la década entre 1920 y 1930. Curiosamente, aunque creo que nunca abandonó su interés por este tema, luego de ese período se focalizó mayormente en otras ramas de la física, más vinculadas directa e indirectamente con los aportes de la mecánica cuántica. Considero que el período seleccionado es uno de los más ricos de su obra.

El esquema de este trabajo será:

- a. Un pequeño contexto ampliado de sus primeros años como físico relativista.
- b. Algunos detalles sobre su relación con el episodio de las ondas gravitacionales.
- c. Breves pensamientos suyos posteriores intercalados con la trama temática anterior y algunas palabras acerca de su cambio de orientación en la investigación.

La RG en la década de 1920:

Voy a comenzar con un contexto muy general en torno de la RG en la década de 1920. He tratado de reflejar una hipotética mirada de Beck sobre estos temas en esa época. Aún cuando el recorte es grande, creo que se pueden caracterizar ciertos perfiles principales de la investigación de entonces:

- cosmología
- principio de Mach
- ondas gravitacionales
- singularidades
- soluciones y estrategias aproximativas
- contexto neo-newtoniano
- protagonismo de las matemáticas

A cada uno de estos puntos, los especialistas en historia de la RG le han dedicado extensos escritos. Puede decirse que se ha avanzado bastante en la comprensión de cada uno de estas áreas de investigación. El tema de la cosmología, brevemente, tenía mucho que ver con el famoso debate entre Einstein y De Sitter, con epicentro entre 1916 y 1918. Está relacionado, entre otros puntos, con la relatividad de la inercia y con lo que se va a llamar el principio de Mach, aunque para esa época este último tema ya estaba activo y había ocupado un lugar en reflexiones previas. Ver, por ejemplo (Hoefler, 1994). El tema va a influir en los escritos posteriores de Beck. Con respecto a las ondas gravitacionales, se menciona el tema porque el aporte suyo es, como veremos, original. Actualmente este sector ha recibido una buena literatura. Ver, por dar un ejemplo, (Kennefick, 2016). El aporte de Beck es consecuencia directa su tesis doctoral de 1925. Hay que recordar que ya Einstein había considerado el tema en su etapa

inmediatamente posterior a la elaboración de la RG en noviembre de 1915. Incluso en alguna carta con Schwarzschild, ya trata el tema en 1916.

Con respecto a las singularidades, aunque el tópico ha sido analizado con bastante detalle, como puede verse en (Earman y Eisenstaedt, 1999), hay una zona de interpretaciones que involucra tanto a Beck como a Einstein. Cabe señalar que la especulación siguió viva de diversas maneras. Por ello, parece adecuada la frase de Peter Bergmann: ellas llevan las semillas de su propia destrucción (Bergmann, 1980). El tema de las singularidades presenta muchas aristas interesantes. Sintéticamente, podría decirse que Einstein no se dedicó demasiado al asunto. Hay consideraciones suyas en 1918, en 1935-36 y en 1939, aunque no hay acuerdo sobre el real valor de este último trabajo. Lateralmente, conviene aclarar que no siempre se trataba sólo del espacio-tiempo; a veces se incluía también a la materia dentro de este enfoque teórico.

El tema de las soluciones es un problema estratégico que era presentado como un tema central en la década de 1920, porque había una fuerte búsqueda de soluciones exactas, pero se habían encontrado muy pocas para esa época. No quedaba totalmente en claro qué significaba tener una estrategia por vía de aproximaciones. Esto estimuló intentos de buscar soluciones lineales y aproximadas; aunque el mismo Einstein y otros, seguían motivados por encontrar soluciones exactas. Esto tiene relación, por un lado, con lo que alguien ha llamado “un contexto neo newtoniano”. No resultaba sencillo separar lo puramente einsteniano de los intentos de modificar y adaptar el trabajo de Newton. Pero también tiene que ver con el cambio en la percepción de las matemáticas dentro de esta teoría. Desde esa época hasta 1955, para muchos físicos, la RG pertenecía más al ámbito de las matemáticas que al de la física experimental. Obviamente, era casi imposible, chequear efectos sutiles por vía de cálculos aproximados. La imagen de la RG fue cambiando en la década de 1920; se la vió cada vez más como un área de las matemáticas. Esto puede haber motivado a muchos físicos, como Beck, a investigar en otros terrenos más cercanos a lo empírico. Las múltiples secuelas de la mecánica cuántica ofrecían un paisaje muy seductor en este sentido.

Influencias

Cambiando el ángulo de observación, voy a considerar brevemente algunas influencias intelectuales que tuvo Beck. Comienzo por Einstein. Un amigo de este científico, M. Besso, lo puso en contacto en una oportunidad. “[Besso] lo llevó a mi casa...Tuve una impresión personal sobrecogedora... sentí miedo de él” (Beck, 1994, p. 54). En Berna, Besso, Gonthier y Beck se reunían a compartir intereses intelectuales comunes. Gonthier tuvo incidencia en tópicos de fundamentos de las matemáticas, pero eso escapa a esta monografía. Lateralmente, Beck comenta que tuvo margen para comentar con Einstein algo sobre el efecto Compton. Pero el párrafo siguiente refleja, en mi opinión, un aspecto más importante de su influencia intelectual,

... entendí por qué... la Física Cuántica era tan diferente de la Física que yo había aprendido del trabajo de Einstein... En lo que yo había estado interesado era en la descripción física a ser asociada a cierta teoría... Más tarde encontré que era más útil comparar una teoría física con la representación de una obra en el escenario de un teatro...Creo que ésta es la gran lección dada a nosotros por la Física de Einstein. (Beck, 1994, pp. 58-59).

Esta expresión presenta aires de familia con Popper, pero también con Lessing, a quien cita en este contexto con cierto detalle. Por cierto, es bien conocida la influencia que tuvo Einstein sobre Karl Popper.

Quiero mencionar también a Herman Weyl. En esa época, Beck había estudiado profundamente una de las ediciones de “Espacio, Tiempo, Materia” y tenía un gran respeto por el autor.

Otro caso especial fue Hans Thirring. Como ha sido en buena medida eclipsado por otros episodios en la historia de la física, conviene dedicarle un párrafo. Además de dirigirle la tesis doctoral, fue un científico destacado. El mismo Einstein en una carta le expresa que [lo que Thirring había encontrado] era “el efecto más hermoso en toda la relatividad general”. Como escribiera Walter Thirring, su hijo:

mi padre se hizo la siguiente pregunta. Supongamos que estás sentado en un cilindro que rota, qué aceptas como determinante de la rotación: el cilindro cercano o las estrellas lejanas. Cuando Einstein publicó su teoría de la relatividad general, se dio cuenta que ella debería contener la respuesta a su pregunta y la calculó (Thirring, 2005).

Pero el efecto que encontró Thirring con un colega ha seguido ocupando a los científicos. He aquí dos ejemplos: “*A confirmation of the general relativistic prediction of the Lense-Thirring effect*” (Ciufolini y Pavlis, 2004). Este resultado está relacionado con el Gravity Probe B. “*Lense-Thirring frame dragging induced by a fast rotating white dwarf in a binary pulsar system*” (Krishnan et al., 2020).

Por último, un científico que merece ser citado en otro sentido es Peter Havas. Fue un importante discípulo de Guido Beck. Quizás el más destacado en el ámbito de la RG. Es clara la influencia que tuvo Beck en su formación y trayectoria posterior. Según Havas, Beck le había transmitido el amor por la física y el sentido del humor como inspiración.

La producción de Beck en RG:

Pasando a su producción estrictamente relativista, caben mencionar tres trabajos principales,

- a. “*Zur Theorie binärer Gravitationsfelder*” (Beck, 1925).
- b. “*La propagation des ondes électromagnétiques dans la théorie de la relativité général*” (Beck, 1927).
- c. “*Allgemeine relativitätstheorie*” (Beck, 1929).

Como puede observarse, los tres trabajos corresponden a la década de 1920. Luego sus intereses rotaron en otras direcciones. Pero vale comentar que aún en una época tan tardía como 1979, Beck asistió a una reunión internacional sobre RG en Argentina. Es posible que nunca haya abandonado totalmente a la RG, ni al pensamiento de Einstein.

Voy a comenzar por el tercer artículo, de 1929. Como le habían encargado a Thirring la edición general de un volumen sobre el tema, éste le pidió a Beck que escribiera un panorama del estado de la RG. Lo hizo en un largo artículo. Hans Reichenbach fue autor de otro artículo en ese volumen. Era un gran filósofo de la física en esa época. Lateralmente, quizás valga la pena un comentario menor. De acuerdo con Bunge, Reichenbach tuvo considerable influencia sobre el pensamiento filosófico de E. Gaviola, pero esto nos llevaría a otro terreno más alejado de este artículo.

Según una anécdota que se ha difundido bastante, es este artículo de Beck de 1929 el que llamó la atención de la comunidad física argentina. Ver, por ejemplo, (López Dávalos y Badino, 2000, p. 58-59).

Como se trata de una especie de revisión del tema para la época, veamos en forma esquemática sus contenidos:

-Llama la atención el rol de los principios: de relatividad, de equivalencia. La covariancia es un caso especial. Es interesante el debate Einstein-Kretschmann, el cual se extendió por décadas posteriores. Una zona conceptual no bien definida enfatizaba dos opciones principales. O la covariancia era sólo una consecuencia de las matemáticas, o tenía algún significado físico propio. Para un análisis del tema, ver (Norton, 1995).

-Las ecuaciones de campo desde el principio de Hamilton. Las ecuaciones de movimiento de un punto material, la integración de las ecuaciones de campo en el caso de campos débiles, la teoría de Newton como una primera aproximación.

Este segundo bloque temático es demasiado técnico para esta exposición, pero en todos estos puntos hay historia relacionada con investigaciones previas.

-Ordenes de magnitud. Principales soluciones exactas conocidas. Resultados experimentales. Revisión de la electrodinámica en la relatividad general. Principio de Mach.

Estos temas son tratados de una manera bastante estándar. Algún historiador ha remarcado lo de los órdenes de magnitud, por considerar que en Beck existía un interés destacado por la actividad experimental.

Sin dudas, se trató de aporte erudito y razonablemente maduro para la época. No seguiremos analizando esta revisión para compatibilizar el punto con la ponencia oral presentada oportunamente.

Al artículo de 1925, "A la teoría de los campos gravitacionales binarios" lo he traducido del alemán al castellano vía google, porque no conozco una versión en inglés o francés. Este artículo está directamente relacionado con su tesis, pero lo curioso es que no fue aceptado por W. Wien,

entonces editor de *Annalen der Physik*, por considerar que la RG no era física. Según Beck, Wien no creía que los métodos especulativos pudieran traer algún adelanto en física. Lo más importante de este artículo es que presenta la solución exacta de las ecuaciones de la RG para ondas gravitacionales cilíndricas. Lo de cilíndrico es un largo tema, pero está relacionado con la rotación y con la obra de autores anteriores, como Weyl. En la fábrica de los modelos matemáticos relacionados, por ahí se pueden evitar singularidades al recurrir a un eje en lugar de un punto, con lo cual se evitan algunas de las molestas consecuencias de la intratabilidad. Conviene aquí enfatizar la riqueza expresiva de los modelos.

La estructura del artículo presenta los siguientes tópicos:

– El campo axialmente simétrico independiente del tiempo

a. El caso estático

b. El caso dinámico

– Campos temporalmente variables

– El campo estacionario como primera aproximación

– Algunas observaciones basadas en principios.

Entre varios nombres que cita, hay dos que ocupan un lugar especial, sobre todo al comienzo: Hermann Weyl y Tulio Levi-Civita. Aunque no sea demasiado relevante para este artículo, el trabajo de Weyl mencionado, fue publicado en inglés en 2012 en la revista *General Relativity and Gravitation*.

Hay consenso sobre el artículo de 1927. Las interacciones entre electromagnetismo y RG fueron una de las fuentes motivadoras de numerosas investigaciones. Este trabajo de Beck encuadra dentro de este panorama, pero por su influencia, se lo ha considerado un aporte menor en relación con los otros dos anteriores.

Antes de pasar al episodio de Einstein sobre este punto, es de señalar que en algunas descripciones actuales sobre soluciones, ya aparece el nombre de Beck, como referente de ciertas clasificaciones. Lo que signifi-

ca, en mi opinión, que el tema está siendo reconsiderado históricamente. Ver al respecto, por ejemplo (Wikipedia, 2009).

El caso de Einstein:

Einstein encontró esta solución 12 años después: la llamada solución Einstein-Rosen, sin conocer el trabajo de Beck. Lo curioso, y muy bien documentado hoy, es que lo hizo luego de usar argumentos equivocados. Luego de vaivenes conceptuales llegó a una solución que esencialmente ya había sido dada por Beck en 1925. Cito para dar un contexto al estado de sus reflexiones en esa época, -alrededor de 1937-, una parte de una carta de Einstein a Born:

Junto con un joven colaborador, he llegado al interesante resultado de que no hay ondas gravitacionales, a pesar de que se tenían por seguras en primera aproximación. Esto demuestra que las ecuaciones del campo generales y relativistas no lineales no nos pueden decir más, o mejor dicho limitar más, de lo que hasta ahora se creía. Si siquiera no fuera tan diabladamente difícil hallar soluciones rigurosas. (Einstein y Born, 1973).

Brevemente, porque sobre esto hay información detallada, Einstein envió un artículo al *Physical Review* en Junio de 1936. El artículo fue enviado a un referí. Volvió objetado. Einstein se enfadó y ni siquiera leyó las críticas, pero no volvió a enviar trabajos a esa revista; finalmente el artículo corregido salió en 1937 en una revista menor: *Journal of the Franklin Institute*. La segunda parte de ese artículo es la que está relacionada con lo hecho por Beck. En la parte final del abstract puede leerse “*it turns out that rigorous solutions exist and that the problema reduces to the usual cylindrical waves in Euclidean space*” (Einstein y Rosen, 1937).

Volviendo a Beck:

El trabajo de Beck de 1925 no fue reconocido por la comunidad especializada. En general, pasó desapercibido. Esto suena como algo injusto, pero quizás para atenuar un poco esta impresión, podría decirse que hay algunos otros casos con derroteros similares:

a) El teorema de Birkhoff en relatividad, de 1923 (no confundir con el del teorema ergódico). Según Deser, este resultado ya había sido publicado dos años antes por otro físico.

b) “The Relativity Theory of Plane Waves” (Baldwin y Jeffery, 1926). Este segundo caso, conocido sólo parcialmente en la época, retrotrae a H. Weyl y a su intento de reducir el espectro de ondas de baja amplitud a tres tipos básicos: longitudinales-longitudinales, longitudinales-transversales y transversales-transversales. Luego Eddington encontraría que las dos primeras podían ser ficticias. Se podían eliminar por un cambio de coordenadas. Mientras que las terceras podían tener algún significado físico.

Estos ejemplos muestran que el caso de Beck no era un caso aislado. No todos los investigadores competentes estaban familiarizados con la producción de sus colegas.

Finalizando, creo que una reflexión tardía de Beck puede estar relacionada con algo de lo mencionado en este artículo:

La Física depende esencialmente de dos diferentes conjuntos de factores: los que permiten describir con precisión las mediciones que pueden hacerse y los que aseguran que la descripción dada responde a los requerimientos de la gente a quien va dirigida. (Beck, 1994).

Comentarios finales

Todo parece indicar que sus primeras investigaciones ya presentaban a un físico de primera magnitud. Su nivel de conocimiento de la RG era destacable y su “olfato” físico puede observarse en diferentes episodios de esa época. Sin dudas, es uno de los más destacados científicos que se radicaron temporalmente en Argentina. El Observatorio Astronómico de Córdoba se benefició notablemente al poder incorporarlo como parte de su personal por unos años y nuestro país siguió disfrutando de una fructífera interacción con él durante el resto de su vida.

Nota: el autor agradece a Antonio Passos Videira y a Jean Eisenstaedt por los valiosos y generosos aportes suministrados.

Bibliografía

Baldwin O., Jeffery G. (1926); The relativity theory of plane waves. *Proc. of the RAS of London, series A* 111, pp. 95-104.

- Beck G. (1925); "Zur Theorie binärer Gravitationsfelder". *Zeit. für Phys.* 33: 713-728.
- Beck G. (1927); "La propagation des ondes électromagnétiques dans la théorie de la relativité générale". *Arch. des Scie. Phys. et Nat.* 8: 75-77.
- Beck G. (1929); "*Allgemeine relativitätstheorie*". Allgemeine Grundlagen der Physik. Handbuch der Physik, 4.
- Beck G. (1994); Aspectos de la Física durante los últimos cincuenta años. *Revista de Enseñanza de la Física* 7(2), p. 56.
- Bergmann P. (1980), en: Wolf H. (Ed.); *Some Strangeness in the Proportion*. Addison-Wesley P. Co, p. 156.
- Bernaola O. (2001); *Enrique Gaviola y el Observatorio Astronómico de Córdoba*. Ed. Saber y Tiempo, Bs.As.
- Ciufolini A., Pavlis E. (2004); "A confirmation of the general relativistic prediction of the Lense-Thirring effect". *Nature* 431, pp. 958-60.
- Díaz L., Díaz M., Gonzalez G., Pullin J. (2021); *La música del universo*. Siglo XXI Editores Argentina, Bs.As.
- Earman J., Eisenstaedt J. (1999); Einstein and Singularities. *Stud. Hist. Phil. Mod. Phys.* 30(2).
- Einstein A., Born M. y H. (1973); *Correspondencia. (1916-1955)*. Ed. Siglo XXI, México, p. 160.
- Einstein A., Rosen N. (1937); On Gravitational Waves. *Journal of the Franklin Institute*. Vol. 223, pp. 1333-54.
- Hoefer C. (1994); Einstein's Struggle for a Machian Gravitation Theory. *Stud. Hist. Phil. Sci.*, vol 25, 3, pp. 287-335.

Kennefick D. (2016); *Traveling at the Speed of Thought. Einstein and the Quest for Gravitational Waves*. Princeton U.P.

Krishnan V. et al. (2020): "Lense- Thirring frame dragging induced by a fast rotating white dwarf in a binary pulsar system". *Science* 31 Jan.

López Dávalos A., Badino N. (2000); *J.A.Balseiro: crónica de una ilusión*. Fondo de Cultura Económica, México, 3-Guido Beck.

Norton J. (1995); Did Einstein Stumble? The debate over general covariance. *Erkenntnis* 42: pp. 223-245.

Pasos Videira A., Puig C. (2020); *Guido Beck*. Liv. Da Física, CBPF, Brasil.

Thirring W. (2005); Reminiscences about Hans Thirring. *Int.J. of Mod. Phys. D.* 14, 12, pp. 1971-72.

Wikipedia (2009); *Vacuum solution (general relativity)*.



A participação do astrônomo brasileiro D'Almeida na missão científica francesa para observação do trânsito de Vênus em 1874: uma análise a partir da história cultural da ciência

Maria Romênia da Silva*

André Ferrer Pinto Martins‡

Resumo

A pesquisa objetiva analisar, sob a ótica da História Cultural da Ciência, a prática científica do astrônomo brasileiro Francisco Antônio de Almeida Júnior como um caminho possível para o resgate de elementos da História da Astronomia no Brasil. D'Almeida participou da missão francesa para observar o trânsito de Vênus em 1874, no Japão, sendo responsável por operar um instrumento inovador: o revólver astronômico ou revólver fotográfico. Por ser uma investigação de natureza histórica, utilizamos os métodos mais tradicionais (consultas a fontes primárias, secundárias e fontes locais) como preconiza o trabalho historiográfico. Ao retornar ao Brasil, d'Almeida publicou duas obras diretamente associadas com as experiências vivenciadas durante a expedição realizada para a observação do trânsito: um relatório científico e um relato de viagem. Apesar das suas contribuições para diferentes áreas do conhecimento, Francisco Antônio de Almeida Júnior não aparece na história da Astronomia brasileira como um personagem cuja memória tenha sido cristalizada.

Palavras-chave: História Cultural da Ciência; Francisco Antônio de Almeida Júnior; Trânsito de Vênus; Astronomia; Revólver Fotográfico.

* Universidade Federal do Rio Grande do Norte/ Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática /Centro de Ciências Exatas e da Terra.

‡ Universidade Federal do Rio Grande do Norte/ Departamento de Práticas Educacionais e Currículo /Centro de Educação.

Abstract

The research aims to analyze, from the perspective of the Cultural History of Science, the scientific practice of the Brazilian astronomer Francisco Antônio de Almeida Júnior as a possible way to recover elements of the History of Astronomy in Brazil. D'Almeida participated in the French mission to observe the transit of Venus in 1874, in Japan, being responsible for operating an innovative instrument: the astronomical revolver or photographic revolver. As it is an investigation of a historical nature, we use the most traditional methods (consultations with primary, secondary, and local sources) as recommended by historiographical work. Upon returning to Brazil, d'Almeida published two works directly associated with the experiences he had during the expedition carried out to observe the transit: a scientific report and a travel report. Despite his contributions to different areas of knowledge, Francisco Antônio de Almeida Júnior does not appear in the history of Brazilian Astronomy as a character whose memory has been crystallized.

Keywords: Cultural History of Science; Francisco Antônio de Almeida Júnior; Transit of Venus; Astronomy; Photographic Revolver.

Introdução

O trabalho aborda a participação do astrônomo brasileiro Francisco Antônio de Almeida Júnior¹ na missão francesa para observar o trânsito de Vênus em 9 de dezembro de 1874 em Nagasaki, no Japão. A pesquisa objetiva analisar, sob a ótica da História Cultural da Ciência, a prática científica do astrônomo brasileiro no século XIX como um caminho possível para o resgate de elementos da História da Astronomia no Brasil.

Por ser uma investigação de natureza histórica, utilizamos os métodos mais tradicionais (consultas a fontes primárias, secundárias e fontes locais) como preconiza o trabalho historiográfico (Kragh, 2001; Videira,

1 Seu nome completo é Francisco Antônio de Almeida Júnior, entretanto é recorrente a variação do uso do último nome. Na autoria dos seus livros aparece como Francisco Antônio de Almeida.

2007). A coleta de dados foi realizada por meio de revisão bibliográfica, com ênfase na análise de fragmentos das obras do astrônomo d'Almeida.

O referencial teórico que utilizaremos, neste trabalho, será a vertente da historiografia denominada História Cultural da Ciência (Pimentel, 2010; Burke, 2008), a qual descreve as práticas científicas como sendo práticas culturais situadas em um tempo e espaços específicos. Logo, o aporte da História Cultural da Ciência (HCC) entende que as ciências não devem ser estudadas *na* cultura, mas *como* cultura (Pimentel, 2010).

Na ocasião do trânsito, o astrônomo brasileiro foi o operador de um instrumento científico inovador: o revólver astronômico ou revólver fotográfico. Essa viagem colocou d'Almeida em interação com diferentes sociedades, sendo considerada pela historiografia como o primeiro contato direto de um brasileiro no Japão. Na missão francesa, o interesse da comitiva era obter dados a respeito da paralaxe do Sol. Sendo assim, por meio de instrumentos como o “revólver fotográfico de Janssen”, foram obtidas imagens que permitiram visualizar em detalhes a passagem de Vênus em frente ao Sol (Mourão, 2004; Pinto, 2017).

Após retornar ao Brasil, d'Almeida publicou duas obras diretamente associadas com as experiências vivenciadas durante a expedição realizada para a observação do trânsito: um relatório científico e um relato de viagem. As obras se diferenciam pela natureza dos conteúdos abordados, sendo uma considerada de cunho científico (*Parallaxe do Sol e as passagens de Vênus* - 1878) e a outra mais histórica (*Da França ao Japão: Narração de viagem e descrição histórica, usos e costumes dos habitantes da China, do Japão e de outros países da Ásia* - 1879).

Por fim, é importante destacar que nosso estudo se encontra em andamento e faz parte de uma pesquisa maior que se refere às práticas científicas dos astrônomos que observaram os trânsitos de Vênus no século XIX (em particular, do astrônomo d'Almeida) e que fizeram uso de dispositivos produzidos para fotografias e cinematografia, bem como, instrumentos científicos que foram pensados por astrônomos que tiveram sua utilização aproveitada por fotógrafos e cineastas.

História cultural da ciência: Um olhar para a Prática Científica

Na pesquisa, fizemos uso do referencial teórico da História Cultural da Ciência, visto que, essa vertente historiográfica concentra sua atenção nas

práticas cotidianas, buscando narrativas que destaquem padrões culturais de determinada época e, a partir do fazer cotidiano, almeja articular temas mais gerais sobre cultura e sociedade. De acordo com Guerra (2019), a História Cultural da Ciência tem como meta a produção de relatos históricos acerca do conhecimento científico elaborado por homens e mulheres ao longo do tempo, em sintonia com os significados culturais que delinham o conhecimento científico estudado.

O aporte da História Cultural da Ciência entende que as ciências não devem ser estudadas *na* cultura, mas *como* cultura (Pimentel, 2010). Para Reis et al. (2006), as ciências são integrantes da cultura do nosso tempo e espaço, entendendo que fazem parte dessas bases dinâmicas que constroem as questões e respostas com que nos defrontamos em nosso mundo (Moura & Guerra, 2016). O conceito de cultura (Galison, 1997), nesse contexto, “não se refere apenas à estrutura social, mas relaciona-se crucialmente a valores, significados e símbolos associados à sociedade, o que faz com que estes deixem de ser meros adornos na constituição das ciências e sejam tomados como elementos centrais em sua constituição” (Guerra, 2019, p. 207).

Sendo assim, com base no referencial da HCC, olhando para o estudo das ciências e entendendo-as como cultura, será importante considerar a análise das práticas e representações científicas, assim como as culturas materiais e visuais (Pimentel, 2010). De acordo com Guerra (2019),

No caso das práticas, é preciso considerar que as práticas científicas não abrangem apenas ações performáticas relativas a manipular instrumentos e amostras ou a interpretar dados e cálculos (Moura; Guerra, 2016). Incluem-se aqui as diferentes práticas envolvidas nas ações dos sujeitos que produzem direta ou indiretamente ciências, como: o manejo dos instrumentos, as práticas de difusão e divulgação do conhecimento, entre outras (p.207).

Analisando os procedimentos e meios materiais imersos na construção dos conhecimentos científicos percebemos que, associado às práticas e às representações científicas, necessitamos olhar com atenção para a cultura visual e material. Sendo assim, devemos levar em consideração que os instrumentos, suas construções, suas reconstruções ou o emprego de regras não escritas para seu manuseio são elementos cruciais para que os mesmos atuem em prol de conhecimento científico (Pimentel, 2010; Guerra, 2019).

Portanto, as práticas científicas não se restringem, tão somente, a atividades experimentais, sendo a ciência trabalho e, como tal, elas se assemelham, de uma maneira geral, a outras práticas laborais, assim como as realizadas nas expedições científicas. Defendemos que as práticas científicas dos astrônomos no século XIX (em particular do astrônomo d'Almeida que observou o trânsito de Vênus em Nagasaki no ano de 1874) evidenciam o diálogo da ciência com outras áreas do conhecimento (em especial as práticas dos fotógrafos e dos cineastas), mostrando que a ciência é uma prática social que não se faz de modo isolado, destacando o seu caráter coletivo, uma vez que é construída por diferentes atores sociais.

A participação do astrônomo D'Almeida na missão científica francesa para observação do trânsito de Vênus em 1874

A presente seção descreve a participação do astrônomo brasileiro Francisco Antônio de Almeida Júnior² na missão francesa chefiada pelo astrônomo Pierre Jules César Janssen (1824-1907) para observar o trânsito de Vênus, em 9 de dezembro de 1874, em Nagasaki, no Japão. Na ocasião do trânsito, o astrônomo brasileiro foi o operador de um instrumento científico inovador: o revólver astronômico ou revólver fotográfico. Essa viagem colocou d'Almeida em interação com diferentes sociedades, sendo considerada pela historiografia como o primeiro contato direto de um brasileiro no Japão (Fundação Alexandre Gusmão, 2012, p. 9). Em 2020, a Embaixada do Brasil no Japão reconheceu a importância científica do trabalho de d'Almeida e seu ineditismo por ser o primeiro brasileiro a visitar o Japão. Conforme Pinto (2017),

Ainda que o objetivo da missão científica composta por Almeida fosse realizar a observação astronômica da passagem do planeta Vênus diante do Sol no sentido de produzir estudos sobre a paralaxe, como já mencionado, é importante salientar que enquanto viajante e narrador, o cientista brasileiro também tinha por fundamental objetivo observar países e povos da Europa e, principalmente, da África e Ásia, os quais para muitos leitores brasileiros, eram totalmente desconhecidos (p. 2).

2 Alguns autores atribuem as datas de nascimento de d'Almeida como sendo por volta de 1848 e falecimento em 1928. No entanto, de acordo com Nader (2015), apesar da extensa busca realizada, não foi possível descobrir as datas exatas de nascimento e morte de d'Almeida.

Francisco Antônio de Almeida Júnior (d'Almeida, como ficou conhecido na França), doutor em Filosofia, era engenheiro, astrônomo e professor na Escola Politécnica da Universidade do Brasil (atualmente vinculada à UFRJ), durante o Segundo Reinado e a República Velha³.



Figura 1. Francisco Antônio de Almeida Júnior.

Fonte: Livro “Da França ao Japão: Narração de viagem e descrição histórica, usos e costumes dos habitantes da China, do Japão e de outros países da Ásia” - 1879.

Em 1872, d'Almeida foi enviado por Conde Prados, diretor do Observatório Imperial do Rio de Janeiro, para estudar Astronomia na França. Enquanto esteve lá, foi convidado para participar da comissão da missão científica francesa para observação da passagem de Vênus pelo Sol, no Japão, em 1874, em um evento durante o qual foi responsável pelo uso do revólver fotográfico de Jules Janssen. Com esse dispositivo, foram obtidas imagens que permitiram visualizar em detalhes a passagem de Vênus em frente ao Sol (Mourão, 2004). Na figura 2 podemos ver a equipe reunida em Paris, em 1874. D'Almeida é o segundo da direita para a esquerda, e

3 O Segundo Reinado é a fase da História do Brasil que corresponde ao governo de D. Pedro II, com início no ano 1840 e término em 1889 com a Proclamação da República. A República Velha é o período da história do Brasil que se estendeu de 1889 a 1930. Os marcos que estipulam o início e o fim desse período são a Proclamação da República e a Revolução de 1930.

Janssen está ao centro, sentado. Ao fundo à esquerda, sobre um banquinho, o revólver fotográfico.

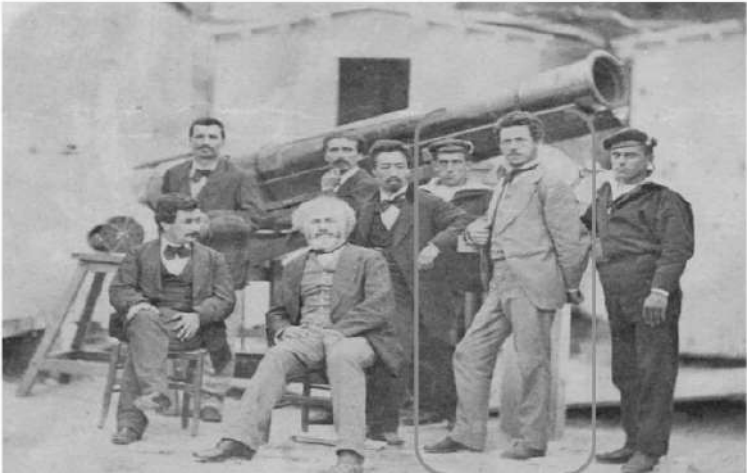


Figura 2. Missão científica francesa para observação da passagem de Vênus pelo Sol no Japão em 1874. Fotografia tirada em Paris. Coleção Anne Guigan-Lèautè. Fonte: Launay (2011).

A importância científica da observação desse fenômeno em 1874 estava associada à necessidade de se medir a distância Terra-Sol (a paralaxe do Sol⁴).

Naquela época, o propósito de Janssen não era apenas capturar o movimento, mas o que era de particular interesse para os astrônomos: capturar o próprio ponto de contato entre o planeta e o Sol, que era necessário para determinar posteriormente a distância astronômica entre a Terra e o Sol (a unidade astronômica). Como o momento exato do contato não pode ser previsto com precisão, registrar uma única fotografia pode ser arriscado, dada a raridade do fenômeno. Assim, Janssen procurou obter uma sequência rápida de fotografias (ou pelo menos tão rápida quanto permitia a tecnologia de 1874), de forma automática, sem depender de um

4 A paralaxe é usada para determinar a distância de um objeto afastado, fazendo-se a marcação dos ângulos sob os quais é visto de dois pontos diferentes (Mourão, 1987, p. 603).

observador humano para registrar o processo, e com a possibilidade de, no futuro, replicar os estudos por meio da análise das imagens obtidas. O revólver fotográfico cumpriu sua busca (Silva & Camino, 2020, pp. 60-61, tradução nossa).

Na figura 3 podemos ver d'Almeida operando o “revólver fotográfico” de Janssen que foi utilizado para fotografar o trânsito de Vênus em 09 de dezembro de 1874, em Nagasaki. O instrumento científico era um dispositivo que tirava fotos (daguerreótipo), sobrepostas em uma placa de vidro, em sequência, a intervalos de aproximadamente um segundo. O dispositivo de Janssen, fixado ao solo, é apontado para um “heliostato”, um espelho movido por um mecanismo de relógio para seguir o Sol (Silva & Camino, 2020). Segundo Launay e Hingley (2005), o dispositivo inventado por Janssen para registrar o trânsito de Vênus é o primeiro dispositivo prático utilizado para capturar fotografias sequenciais⁵ (técnica conhecida atualmente como cronofotografia), que, posteriormente, foi reconhecido como o precursor da câmera cinematográfica.

5 Uma animação da sequência fotográfica capturada por d'Almeida utilizando o instrumento científico do Jules Janssen, mostrando o trânsito de Vênus em 09 de dezembro de 1874, pode ser observada em: https://drive.google.com/file/d/1S-5vs5iHTLzDZefKCvlsT-7q_B_l0ABBE/view?usp=sharing

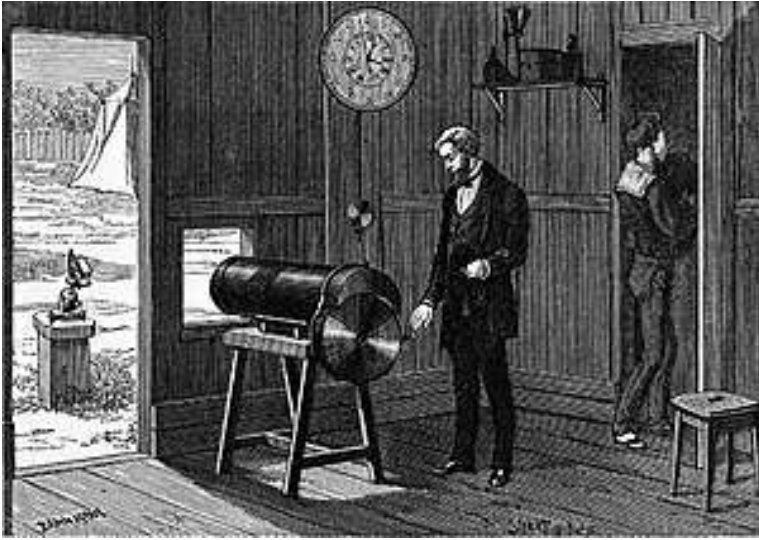


Figura 3. Desenho mostrando Francisco Antônio de Almeida utilizando o revólver fotográfico durante a missão de 1874 em Nagasaki (imagem publicada na revista *La Nature*, em 1875).Fonte: Mourão (2004).

Durante o período em que esteve estudando na França, d'Almeida obteve a concessão de uma espécie de bolsa de custeio com duração de 3 anos. D'Almeida doutorou-se e retornou ao Brasil no ano de 1876, sendo diplomado enquanto Doutor em Filosofia. O diploma (figura 4), da atual Universidade de Bonn, na Alemanha, foi assinado por August Kekulé, um dos mais renomados químicos do século XIX (Yshida, 2020). No documento (que está em Latim), d'Almeida é identificado como brasileiro vinculado ao Imperial Observatório do Rio de Janeiro, cavaleiro da Imperial Ordem da Rosa e membro da Sociedade Geográfica de Paris.

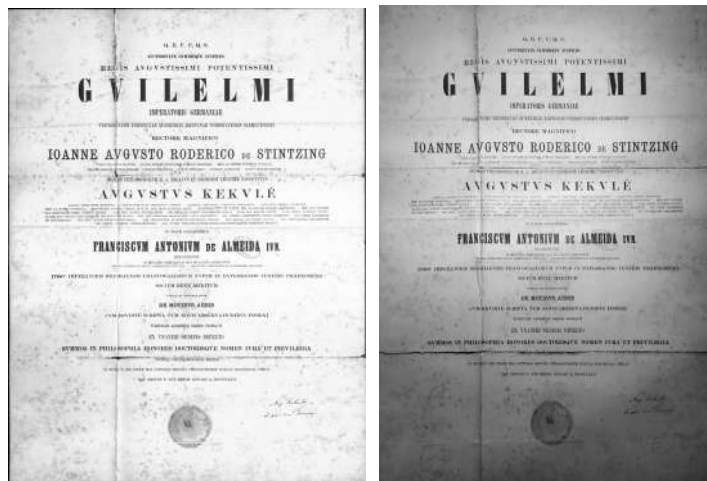


Figura 4. Diploma de Doutor em Filosofia concedido a Francisco Antônio de Almeida. Fonte: Disponível no Arquivo Nacional - Referência: BR RJANRIO 2H.0.0.346.

Em 1875, d'Almeida havia sido condecorado como cavaleiro da Ordem da Rosa por sua participação como delegado do Governo Imperial na comissão francesa. Por fim, recebeu do governo francês uma medalha comemorativa por sua participação na missão científica destinada ao Japão (Nader, 2015).

Conforme já mencionado, após retornar ao Brasil, d'Almeida publicou um relatório científico e um relato de viagem, obras que se diferenciam pela natureza dos conteúdos abordados (*Parallaxe do Sol e as passagens de Vênus* – 1878; e *Da França ao Japão: Narração de viagem e descrição histórica, usos e costumes dos habitantes da China, do Japão e de outros países da Ásia* – 1879).

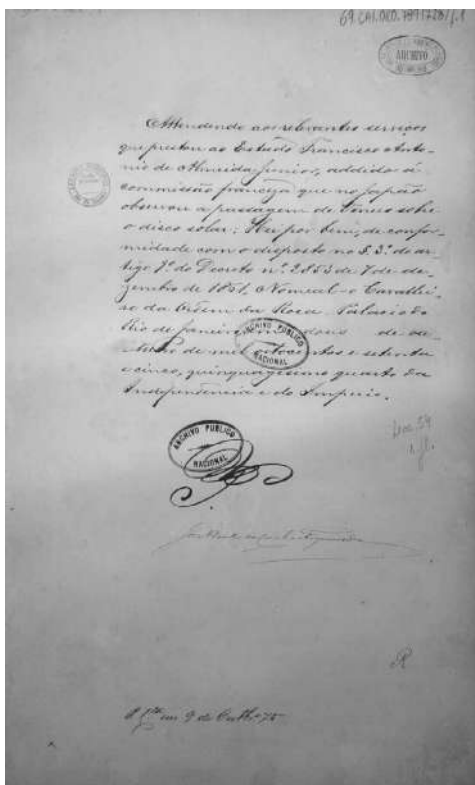


Figura 5. Decreto agraciando com o grau de cavaleiro a: Francisco Antônio de Almeida Júnior. Fonte: Disponível no Arquivo Nacional - Referência: BR RJANRIO 69.CAI.ORO.7891728.

Em *Parallaxe do Sol e as passagens de Vênus* (1878), d’Almeida faz uma descrição científica da observação do trânsito, com ênfase nos estudos da paralaxe solar. Para d’Almeida (1878 apud Pinto, 2017, p. 2) “a palavra paralaxe (do grego *paralaxis*, diferença, mudança) enquanto termo astronômico indica alteração na situação aparente do astro a que se refere; em outras palavras, a diferença que existe entre o lugar onde se observa (por exemplo, o Sol) e o lugar que pareceria ocupar se o víssemos do centro da Terra”.



Figura 6. Frontispício do livro *Parallaxe do Sol e as passagens de Vênus* (1878). Fonte: Mourão (2004).

Na missão francesa, o interesse da comitiva era obter dados a respeito da paralaxe do Sol. Sendo assim, por meio de instrumentos como o “revólver fotográfico de Janssen”, mensurações levando em conta distâncias, alterações aparentes, diferenças entre pontos distintos etc. foram realizadas (Pinto, 2017). Em 1874, várias expedições foram enviadas para observar o fenômeno e, segundo Mourão (2004), o valor encontrado para a Unidade Astronômica (UA)⁶ por várias comissões foi de $148\,900\,000 \pm 2\,000\,000$ km.

6 Cabe destacar que, em 31 de agosto de 2012, a União Astronômica Internacional definiu o valor da Unidade Astronômica como: $1 \text{ UA} = 149.597.870.700 \text{ m}$, conforme Resolução B2, XXVII Assembleia Geral da IAU (https://www.iau.org/static/resolutions/IAU2012_English.pdf), sendo, a partir daí, por convenção, o padrão de referência para a escala de distâncias.

No seu livro *Da França ao Japão: Narração de viagem e descrição histórica, usos e costumes dos habitantes da China, do Japão e de outros países da Ásia* (1879), d'Almeida situa-se no padrão dos livros de viagem publicados na época: o relato é permeado por descrições etnográficas, análises históricas e narrações sobre o contato com diferentes sociedades nos continentes europeu, africano e asiático no final do século XIX (Pinto, 2016).

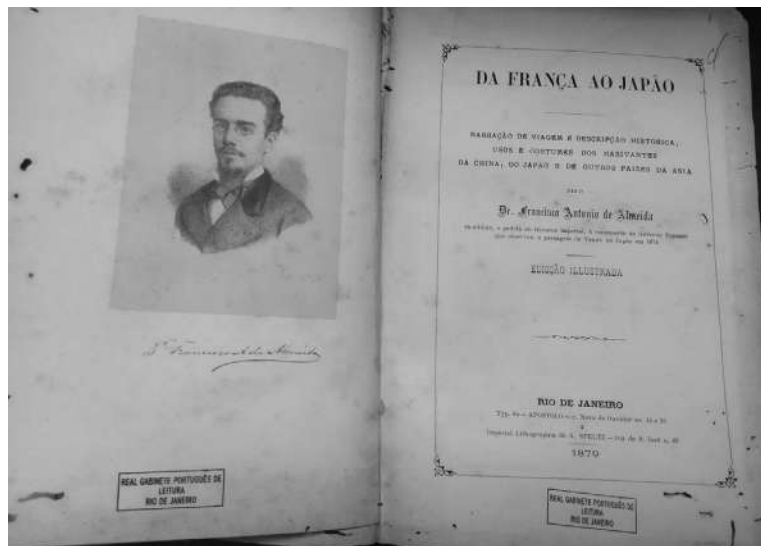


Figura 7. Imagem do Livro - *Da França ao Japão: Narração de viagem e descrição histórica, usos e costumes dos habitantes da China, do Japão e de outros países da Ásia* (1879). Fonte: Livro disponível no acervo do Real Gabinete Português de Leitura no Rio de Janeiro. Imagem dos autores.

A importância do resgate histórico do astrônomo D'Almeida

Em nosso estudo, buscamos destacar o caráter coletivo da produção do conhecimento e ampliar a visibilidade dos atores sociais dentro do desenvolvimento da ciência. Em especial, dando destaque a d'Almeida, procuramos reverter um caso de apagamento histórico no âmbito da história da Astronomia brasileira.

A ciência foi (e é) construída por muitos atores sociais. A participação dessas pessoas com diferentes saberes e trabalhando com distintas práticas em diversos locais foi fundamental para o desenvolvimento da ciência. Nesse contexto estão as expedições científicas. Assim sendo, torna-se oportuna a utilização da História Cultural da Ciência como um caminho possível para a discussão sobre essas práticas científicas no Ensino de Astronomia.

O processo da viagem do d'Almeida, em sua totalidade, é composto pelo relatório científico e por sua experiência pessoal enquanto viajante, nos brindando com um relato etnográfico e sociopolítico de regiões como o Golfo Pérsico, Índia, Indochina, Filipinas, localidades no Mar da China e o Japão. A viagem teve início em 19 de agosto de 1874 no porto da cidade de Marselha, na França, a bordo do paquete *Ava* (um navio da francesa *Compagnie des Messageries Maritimes* que regularmente fazia a conexão entre França e Japão). Em seu itinerário de ida⁷, d'Almeida visitou, juntamente com a comissão científica francesa, diferentes locais, tais como: Nápoles, Porto Saïde, Adem, Ilha do Ceilão, Málaca, Singapura, Cochinchina (atual Vietnã), Hong Kong, Yokohama, Nagasaki e Tóquio.

Na busca de informações sobre a prática científica do astrônomo, que tinha um nome comum e uma trajetória incomum, encontramos uma menção sobre o seu retorno ao Brasil publicada no jornal *O Globo* do dia 16 de fevereiro de 1876,

Passará pela Bahia em seu regresso da Europa o Dr. Francisco Antonio de Almeida Junior, filho do coronel Francisco Antonio de Almeida, director de Fazenda aposentado da província do Rio de Janeiro. Encarregado pelo nosso governo de assistir no Japão á passagem de Venus em 1874 e fazer as observações astronômicas solicitadas pela sciencia, o Dr. Almeida Junior acaba de completar os seus estudos na Europa de onde volta para o seio de sua família, precedido pelos louvores e consideração que lhe tem prodigalizado a imprensa. (*O Globo*, 16/02/1876)

⁷ Em sua viagem de ida, com duração de 48 dias, d'Almeida parou em diferentes portos e enfrentou ileso um tufão na cidade de Hong Kong que deixou cerca de 8 mil mortos, de acordo com os jornais ingleses da época citados em seu relato, bem como, no livro do astrônomo Janssen sobre a expedição. O astrônomo chegou em Yokohama em 3 de outubro e permaneceu no Japão nos três meses seguintes.

No Brasil, d'Almeida foi nomeado para lecionar no 2º ano do Curso de Minas da Escola Politécnica, no Rio de Janeiro. Diante das inúmeras experiências vivenciadas pelo astrônomo, “não poderíamos negar espaço à atuação pública do d'Almeida depois da viagem, tanto nas questões sobre a república quanto sobre os trabalhadores asiáticos” (Yshida, 2020, p.23).

Francisco Antônio de Almeida Júnior não aparece na história da Astronomia brasileira como um personagem cuja memória tenha sido cristalizada. No entanto, o astrônomo demonstra ter sido um personagem chave que exprime o desejo e o empenho de uma geração de intelectuais interessados em compreender melhor o país, com vias de fazê-lo avançar com base nos referenciais europeus (Pinto, 2018). D'Almeida não era um simples assistente do astrônomo Jules César Janssen. Era um cientista da época, embora desconhecido no Brasil.

Bibliografia

Fontes

Almeida, Francisco Antonio (1878). *A parallaxe do Sol e as passagens de Venus*. Rio de Janeiro: Typographia do Apostolo: Imperial Lithographia de A. Speltz.

Almeida, Francisco Antonio de (1879). *Da França ao Japão*: Narração de viagem e descrição histórica, usos e costumes dos habitantes da China, do Japão e de outros países da Ásia. Rio de Janeiro: Typographia do Apostolo: Imperial Lithographia de A. Speltz.

Periódico

Jornal O Globo, 1876.

Referências

Burke, P. (2008). *O que é história cultural?* rev. e ampl. Rio de Janeiro: Jorge Zahar.

- Fundação Alexandre Gusmão (2012). “Centro de História e Documentação Diplomática”. In: *Cadernos do CHDD*. Brasília: A Fundação, ano 11, n.20, jan./jun. 2012, p. 9.
- Galison, P. (1997). Material culture, theoretical culture and de localization. In Krige J.& Pestre D. (Eds.) *Science in the Twentieth Century* (pp.669-682). Paris: Harwood.
- Guerra, A. (2019). Educação Científica numa abordagem histórico-cultural da Ciência. In: Silva, A. P. B., & Moura, B. A., eds. *Objetivos humanísticos, conteúdos científicos: contribuições da história e da filosofia da Ciência para o ensino de Ciências* (pp.205-226). Campina Grande: EDUEPB. ISBN: 978-85-78795-79-5. <http://doi.org/10.7476/9786586221664>.
- Kragh, H. (2001). *Introdução à historiografia da ciência*. Porto: Editora Porto.
- Launay, F. et al. (2005). Jules Janssen’s “Revolver Photographique” and its British derivative, “The Janssen Slide”. *Journal for the History of Astronomy, Newbury Park*, v. 36, n. 1, pp. 57-79.
- Launay, F. (2011). *The Astronomer Jules Janssen: A Globetrotter of Celestial Physics*. New York, Dorrecht, Heidelberg and London: Springer.
- Moura, C. B.& Guerra A. (2016). História Cultural da Ciência: Um Caminho Possível para a Discussão sobre as Práticas Científicas no Ensino de Ciências?. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v.16, n.3, p.725-748.
- Mourão, R. R. de F. (1987). *Dicionário enciclopédico de astronomia e astronáutica*. 2. Ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira.
- _____. (2004). The Brazilian contribution to the observation of the transit of Venus. In: Kurtz, D. W. (ed.). *Transit of Venus: new views of the solar system and galaxy*, Reino Unido: Cambridge University Press, p.154-160.

- Nader, R. V. (2015). *Eclipses e trânsitos planetários no século XIX: a modernização da Astronomia observacional no Brasil de 1850 ao final do Segundo Império*. Tese (Doutorado em História das Ciências), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Pimentel, J. (2010) ¿Qué es la historia cultural de la ciencia? *Arbor*, v.186, n.743, p.417-424.
- Pinto, J. F. (2016). “Da França ao Japão” de Francisco Antonio Almeida: viagem, narrativa e produção de conhecimento na segunda metade do século XIX. In: XV Encontro Regional de História da ANPUH-PR, 2016, Curitiba. *Anais eletrônicos do XV Encontro Regional de História da ANPUH-PR*. Curitiba, PR, Brasil.
- Pinto, J. F. (2017). A paralaxe promovida pelo outro: explorando a porosidade entre História e Astronomia por meio de um relato de viagem oitocentista. *Boletim Eletrônico da Sociedade Brasileira de História da Ciência*, v.13.
- Pinto, J. F. (2018). *A paralaxe do outro: medidas de alteridade entre África e Ásia no primeiro relato de viagem de um brasileiro no Japão no século XIX*. Dissertação (Mestrado em História), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Disponível: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/219573/PHST0708-T.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>
- Reis, J. C. et al (2006). Ciência e arte: relações improváveis. *História, Ciências, Saúde – Manguinhos*, v. 13, p. 71–87.
- Silva, M. R.; Camino, N. (2020). “El tránsito de Venus hacia el final del siglo XIX y el surgimiento del séptimo arte”. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 15(1), 46-64. DOI: <http://doi.org/10.14483/23464712.14246>
- Videira, A. A. P. (2007). Historiografia e história da ciência. *Escritos (Fundação Casa de Rui Barbosa)*, v. 1, p. 111–158.

Yshida, Kelly (2020). *Descrevendo o Japão, escrevendo o Brasil: raça, trabalho e nação em três atos (1874; 1889; 1897)*. Tese de doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil. Disponível: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/219573>



A física em disputa com a filosofia e a literatura: os dois primeiros anos de Guido Beck no Observatório Nacional Argentino

Antonio A. P. Videira*¹

Resumo

Este artigo descreve, principalmente a partir de trechos de cartas trocas entre Guido Beck, Mario Bunge e Ernesto Sábato, as discussões e os embates, que envolveram esses três personagens. Tal apresentação procura apresentar os valores que guiavam Beck em sua prática como cientista. Não cabe aqui emitir juízo de valor a respeito das posições defendidas pelos três personagens, mas, sim, ilustrar as dificuldades inerentes à prática da ciência em países desprovidos de tradição científica as quais, às vezes, não são causadas por fatores externos como falta de recursos financeiros ou ausência de apoio governamental.

Palavras chave: *História da Ciência, Comunidade, Valores, Física na Argentina*

Abstract

This article describes, based on excerpts from letters exchanged between Guido Beck, Mario Bunge and Ernesto Sábato, the discussions and clashes which involved these three physicists. This presentation is made with the aim of presenting the set of values that guided Beck in his practice as a scientist. It is not appropriate here to make any value judgment regarding the positions defended by them, but rather to illustrate the difficulties inherent in the practice of science in countries lacking a scientific tradition

1 Agradeço o apoio financeiro do CNPq através de um bolsa de pesquisa (nº 306612/2018-6) e a bolsa concedida pelo Programa Prociência/UERJ.

* Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Brasil.

and which, sometimes, are not caused by external factors such as lack of financial resources or lack of government support.

Keywords: *History of Science, Community, Values, Physics in Argentine*

Guido Beck demorou dez anos para encontrar um emprego estável, que lhe permitisse dedicar-se à física, bem como à orientação de jovens, que mostrassem interesse em se tornar cientistas. Também uma década foi o tempo que Enrique Gaviola levou para perceber que precisava de aliados em sua luta pela organização de uma comunidade em física na Argentina.

Desde que se reinstalou no seu país natal, após alguns anos no exterior, Gaviola percebeu que apenas uma boa formação científica e resultados reconhecidamente importantes não seriam suficientes para fazer valer as suas opiniões e os seus planos para a ciência.

Gaviola era um físico com uma formação sofisticada e complexa. Inicialmente, ele estudou, entre o final da década de 1910 e o início da seguinte, agrimensura em La Plata. Nessa universidade, conheceu Richard Gans, que o incentivou a seguir a carreira de físico, o que deveria ser feito na Alemanha. Em meados dos anos de 1920, Gaviola partiu para aquele país, estudando nas universidades de Berlim e Göttingen. Em meados da década de 1920, defendeu uma tese de doutorado em Berlim em física experimental sob a orientação de James Franck. Em seguida, rumou para os EUA, onde passou alguns anos trabalhando com Merle Tuve.

O início da sua carreira foi, portanto, bastante promissor. Contudo, ao retornar à Argentina, no início dos anos 1930, Gaviola resolveu se ocupar principalmente com a transformação da realidade universitária, envolvendo-se em inúmeras “guerras” com os seus pares. Em meados dessa mesma década, Gaviola passou um ano na Espanha, quando pôde retomar a atividade científica. Ao regressar ao seu país, ele, uma vez mais, abraçou a tarefa que considerava como relevante: mudar o ambiente argentino. Apesar de se mostrar aguerrido e coerente com os propósitos que estabelecera para a sua própria conduta como reformador, as ações de Gaviola não davam os resultados almejados. Era necessário conseguir atrair pessoas com uma formação e uma visão de mundo semelhantes para ser bem-sucedido.

No início da década de 1940, Gaviola soube por Franck que Beck queria emigrar da Europa. Ao tomar conhecimento da intenção do físico austríaco, Gaviola percebeu uma chance para realizar os seus planos de transformação. Após uma rápida troca de correspondência, Beck, ainda em 1942, aceitou o convite feito pelo colega argentino.

Ao chegar à Argentina em maio de 1943, Beck sabia ser imprescindível atuar no ambiente para ser bem-sucedido. Os anos passados em universidades no hemisfério norte, ensinaram-lhe que, sem o apoio do ambiente à ciência e aos cientistas, qualquer esforço para implantar a pesquisa em nível profissional seria inútil. Para o ambiente funcionar corretamente era preciso que a ciência incorporasse certos valores, incorporação que deveria ocorrer através da própria prática da pesquisa. Beck pretendia ensinar física moderna junto com a transmissão de valores para uma prática científica fecunda e duradoura.

No ano seguinte à sua chegada, Beck envolveu-se em dois conflitos com jovens colegas devido a diferenças a respeito de como valores deveriam ser incorporados pelos cientistas. O primeiro deles foi com Bunge; o segundo, com Sábato. Esses exemplos são interessantes, pois permitem questionar e enriquecer a visão “recebidas” dos processos de criação e organização de comunidades científicas.

A partir de 1º de junho de 1943, Beck encontrava-se instalado em Córdoba, como 3º astrônomo no Observatório Nacional Argentino (ONA), sem quaisquer vínculos com a universidade local. As suas obrigações eram: oferecer um curso semanal de introdução à mecânica quântica, organizar seminários com o pessoal científico do observatório. No resto do tempo de que dispunha, Beck dedicava-se à formulação da sua versão da eletrodinâmica quântica. Sua missão fundamental, determinada pelo então diretor do Observatório Nacional Argentino (ONA) – Gaviola-, contudo, era a formação de cientistas.

Beck e Gaviola eram personalidades muito diferentes. Apesar das diferenças facilmente identificáveis, eles se davam bem, respeitando-se, principalmente por estarem em acordo sobre a necessidade de transformar o ambiente científico. Ambos estavam dispostos a sacrificar suas próprias carreiras em prol da construção de uma comunidade.

Eles não colaboraram em temas de física, apesar de terem uma gama de interesses muito ampla e diversificada. A ausência de colaboração em física resultou na inexistência de artigos publicados pelos dois com duas

exceções, as quais devem ser entendidas como advertências. Os dois artigos assinados por Beck e Gaviola dizem respeito a temas de organização da comunidade científica. O mais relevante dos dois é aquele que discute quais deveriam ser os objetivos das reuniões técnicas e científicas (Beck e Gaviola, 1946). Em breves palavras, as reuniões científicas eram necessárias desde que fossem encontros de trabalho, organizados para a apresentação e discussão de resultados estritamente científicos.

Em agosto de 1944, foi criada a Asociación Física Argentina (AFA) (Westerkamp, 1975, pp. 23-24 e Westerkamp, 1995, pp. 79-84.), um dos primeiros resultados dos esforços colaborativos entre Beck e Gaviola. Com a criação da AFA, a atuação de Beck ganhou um espaço adequado, já que suas ações eram publicamente compartilhadas, discutidas e criticadas. Nos primeiros anos em que esteve na Argentina, Beck se empenhou na organização das reuniões semestrais da AFA, usando-a para transmitir aos jovens os critérios, que considerava importante para que a ciência ocorresse de maneira sólida e sã.

Apesar de trabalhar e viver no campus do ONA, as ações de Beck não ficaram restritas a Córdoba. Pouco dias após ter chegado a Buenos Aires, seu primeiro pouso em solo argentino, Beck foi apresentado a Bunge por Sábado (Bunge, 2014, p. 75). Informado dos propósitos de Bunge, Beck descreveu quais eram os problemas do seu interesse e que poderiam ser investigados, o que gerou uma relação de orientador-orientando.

Bunge escrevia com frequência, relatando os seus progressos, descrevendo os seus obstáculos e solicitando ajuda quando necessário. Beck sabia que o seu pupilo tinha outros interesses, além daqueles que envolviam os temas da sua tese de doutorado. Em particular, Beck não desconhecia a atração que Bunge nutria pela filosofia e que o levou a fundar um periódico na área (*Minerva*). É em torno dessa revista que se iniciou o conflito entre Beck e Bunge. A leitura do primeiro número de *Minerva* fez com que Beck ficasse preocupado. Procurando ser coerente com os objetivos da missão que tinha estabelecido com Gaviola – formar profissionais de acordo com os critérios e valores habituais nos centros considerados como lideranças, Beck, em 30 de maio de 1944, escreveu uma carta ao futuro filósofo da ciência:

Caro Gauchito.

Recebi el primer número de la *Minerva*. Ud. sabe que yo no esperaba nada de bueno de esta empresa, pero tengo que decir que fui un golpe bastante fuerte para mí y que fui mucho peor que yo esperaba. [...] Aún tomando este artículo como una reacción nerviosa, reacción contra las necesidades de self-restriction indispensable en la investigación (“libertad?”) tengo que decirle abiertamente que en el ambiente alemán de antes 1933, un tal artículo tendría impedido automáticamente toda carrera universitaria de su autor. Y aún en cualquier otro país un tal artículo, no puede dar otro resultado que de constituir un handicap muy grave (Videira e Puig, 2020, pp. 187-188).

O tom usado por Beck para externar sua impressão é próximo, cordial e amigo. De modo algum, pretende ser agressivo ou mostrar-se irritado. Ainda assim, suas palavras são objetivas e claras o suficientes para que Bunge entenda o seu ponto de vista. Ele justifica a péssima impressão que teve do texto do seu orientando:

(...) se trata de un artículo con afirmaciones completamente falsas, sin ningún sentido científico, que aún no permite la conclusión que su autor sabe que es trabajo científico. Es particularmente peligroso en un ambiente joven, sin tradiciones y sin espíritu crítico bastante fuerte. Si queda así, necesita una repudiación pública clara (Videira e Puig, 2020, p. 188).

A passagem acima permite que se veja aquilo que mais incomodava Beck. Sua preocupação estava voltada para os efeitos em ambientes, os quais, se desprovidos de tradição, a publicação desses textos seria prejudicial. Evitar danos, através de declaração pública em repúdio ao artigo publicado para não deixar dúvidas acerca do caráter do seu autor, era atitude a ser adotada: “Pero no hay otro camino, sin carácter fuerte no hay ciencia. Lamento mucho quo tengo que decir todo esto y lo siento, parcialmente, como un fracaso personal de mis esfuerzos hechos después mi llegada en este país” (Videira e Puig, 2020, p. 189).

Um dia após receber a carta de Beck, Bunge escreveu a sua resposta, essencialmente uma recusa ao pedido e aos argumentos do seu supervisor. Bunge, em particular discordava que o seu caso pudesse contaminar o ambiente científico, afetando outros jovens. Os termos usados por Bunge são eloquentes, orgulhosos e autoconfiantes:

Mi querido Dr. Beck:

Lamento mucho que “Minerva”, y en particular mi artículo, le haya impresionado tan mal. En verdad no esperaba otra cosa de un enemigo declarado de la Filosofía (...). Me parece totalmente inútil discutir estas cosas con Ud.: si el artículo fuera científico me sometería gustoso a su opinión, pero se trata de un trabajo filosófico (Videira e Puig, 2020, p. 189).²

A carta de Bunge não caiu no vazio. Escrita em 04 de julho, a resposta de Beck foi cordial, como sempre. Mesmo duvidando de que a situação se resolvesse do modo como gostaria, Beck repetiu as razões pelas quais reagiu de forma dura ao artigo do ainda seu estudante, enfatizando os motivos pelos quais criticara o artigo sobre epistemologia. O seu incômodo era devido à presença de valores equivocados; os corretos não foram assimilados e, pior, o jovem físico não queria incorporá-los. A origem da reação de Bunge seria a falta de rigor com avaliou o seu próprio trabalho. A não assimilação dos valores corretos impediria a formação de uma comunidade, já que os vínculos entre os seus membros seriam débeis e sujeitos a pressões externas, impedindo a constituição de uma comunidade genuinamente autônoma:

“Según nuestros costumbres y tradiciones, la dirección de trabajos científicos de un alumno implica la obligación de defenderlo siempre que sea atacado. Como yo puedo defender a Ud. si se le reprochan los puntos arriba mencionados? Ud. me dice que no le interesa una tal defensa. Puede ser. Pero no se trata de su obligación, se trata de una obligación para la cual yo soy responsable. Y como, en este caso, yo no puedo cumplir esta obligación (...) yo tengo que tomar la decisión que lo mandare separadamente” (Videira e Puig, 2020, p. 194).

Em outras palavras, não eram os alunos os responsáveis pela autorização para defendê-los; a defesa era uma obrigação dos professores e ela não estaria focada nos resultados científicos, mas, sim, no respeito a valores e atitudes que deveriam reger a prática científica. Ao final da sua carta, Beck insistia na necessidade das escolhas acertadas e que deveriam ser acompanhadas de dedicação integral:

2 Sublinhado no original.

Insisto particularmente en el hecho, que mi decisión no tiene nada que hacer con los trabajos que Ud. hizo bajo mi dirección. Considero estos trabajos como satisfactorios. (...) si Ud. considera la Filosofía como más importante y como más urgente que la Física, lo considero yo como su deber consagrar toda su energía y todo su tiempo a la Filosofía. Pero trabajando bien, con sumo cuidado y de manera científica, no como en su artículo (Videira e Puig, 2020, pp. 194-195).³

Em 6 de junho de 1944, Beck informava que não via condições de prosseguir desempenhado o papel de orientador (Videira e Puig, 2020, p. 196). Três meses depois, Bunge procurava Beck, pedindo para que reconsiderasse a sua decisão:

My dear Dr. Beck:

Como los pedidos de armisticio están de moda, y no quiero parecer démodé, pido el mío. Quels sont vos conditions? (...) no pido armisticio para poder hacer una tesis (ya me resigné a no presentarla nunca), sino porque deseo trabajar bajo su dirección, en cualquier cosa que Ud. me diga (Videira e Puig, 2020, p. 202).⁴

A comunidade física argentina era muito pequena nessa altura. Bunge, entre os jovens físicos, era considerado um dos mais promissores. O rompimento da orientação tornou-se pública. Bunge recorreu a dois matemáticos, Júlio Rey Pastor e Manuel Sadosky a fim de saber se haveria algum erro técnico nas aplicações daquele “cálculo” à epistemologia (Bunge, 2014, p. 109). Ambos os matemáticos escreveram a Beck, comentando o rompimento da orientação. Rey Pastor não se satisfez em externar o quanto lamentava o incidente. Ele procurou resolver o problema. Em carta, escrita em tom leve, o matemático espanhol solicitava que Beck reconsiderasse sua decisão e retomasse a orientação, o que acabou por acontecer.

Vejam, agora, o outro entrevero vivido por Beck em seus primeiros anos na Argentina. A segunda situação Beck colocou-o em confronto com Ernesto Sábato, quem, na época, ainda se desempenhava como físico.

3 Sublinhado no original.

4 Sublinhado no original.

Sábato tinha, segundo ele mesmo, desde criança, interesse por literatura, pintura, como também por ciências e matemática. Na escola, teve bons professores de física, os quais, aliados ao gosto em pensar de forma lógica e estruturada, fez com decidisse seguir carreira em física e matemática. O início da sua trajetória acadêmica foi exitoso. Tal como no caso de Bunge, também Sábato foi visto como uma promessa entre os jovens argentinos. Após estagiar em lugares como o Laboratório Curie e o Massachusetts Institute of Technology, ele foi nomeado professor na Universidade de La Plata (Sábato, 2006).

Na segunda metade dos anos 1930, Sábato começou a pensar em se dedicar profissionalmente à literatura. O anúncio de que pretendia trocar a física pela literatura provocou reações, conforme registrou em sua autobiografia:

Cuando a principios de la década del cuarenta tomé la decisión de abandonar la ciencia, recibí durísimas críticas de los científicos más destacados del país. El doctor Houssay me retiró el saludo para siempre. El doctor Gaviola, entonces director del Observatorio de Córdoba, que tanto me había querido, dijo: “Sábato abandona la ciencia por el charlatanismo.” Y Guido Beck (...) en una carta se lamenta diciendo: “En su caso perdemos en usted un físico muy capaz en el cual tuvimos muchas esperanzas” (Sábato, 2006, pp. 85-86).

Três importantes figuras do cenário científico argentino reagiram negativamente ao serem informados da decisão de Sábato. As palavras deste último permitem inferir que a mais suave foi a do antigo assistente de Heisenberg. As cartas trocadas entre os dois são claras o suficiente para que se compreenda que o primeiro não se opunha à escolha do segundo. Ao contrário, percebe-se um apoio ao futuro autor de *O Túnel*. Nem poderia ser outra a sua atitude. Desejando convencer pelo exemplo, Beck reconhecia o direito de Sábato escolher a profissão que mais lhe agradasse.

Se o “entrevenero” com Sábato fosse relativo apenas à escolha de uma profissão, o roteiro seria o mesmo da “desavença” entre Beck e Bunge. No entanto, houve um ingrediente a mais: a escolha dos padrões de qualidade literária a serem respeitados. A questão dos critérios foi formulada explicitamente por Beck e Gaviola. Eles não admitiam critérios “ambíguos” e “insuficientes”.

Continuemos com o relato de Sábato sobre as reações dos seus colegas ao serem informados da sua decisão:

Enfurecidos por lo que llamaban mi empecinamiento, en reiteradas ocasiones, el doctor Gaviola junto a Guido Beck, vinieron a nuestro rancho para tratar de convencer a mi mujer de la locura que estaba cometendo, en el momento en que el país más necesitaba de científicos. Y aunque traté de explicarles mi crisis espiritual, y de convercelos de que mi verdadera vocación era el arte, apenas lo comprendieron, ya que para esos hombres, la ciencia es la creación suprema del hombre. Guido Beck atribuía mi decisión a la ligereza sudamericana, y Gaviola dijo que me perdonaría si algún día lograba escribir una obra como *La montaña mágica* (Sábato, 2006, p. 87).

Nesta passagem, há três elementos relevantes para o entendimento da personalidade de Beck e o tipo de ação que queira transmitir aos jovens, explicitando os valores que Beck gostaria de ver presentes na ciência. O primeiro dos elementos a ser destacado é a vocação, algo que Sábato afirmava possuir genuinamente. O segundo é a caracterização da sua decisão como superficial. O último concernia à qualidade da literatura a ser produzida: era fundamental seguir exemplos de excelentes escritores.

Sábato abordou em várias cartas a sua crise espiritual. A primeira, datada de 3 de junho de 1944, foi escrita em tom franco e cordial. É inegável o respeito e a estima que o escritor argentino sentia pelo emigrado austríaco, no que era correspondido:

Mi querido Beck:

[...]

Conozco su pensamiento al respecto y estoy muy de acuerdo con usted en que la física es una cosa demasiado seria para tomarla como un pasatiempo. [...] La vocación [es] una fuerza interior que manda hacer algo, contra todas las dificultades que la vida le pueda poner a uno por delante. Es decir, es todo lo contrario de la facilidad y del mínimo esfuerzo. Es la dificultad y el máximo esfuerzo. Usted, por ejemplo, no ha dejado de trabajar en sus teorías a pesar de la guerra y de los campos de concentración; vive para la física, suena con la física y hasta sería capaz de morir por la física. Eso es la vocación. [...] Estoy completamente de acuerdo con usted que no es posible hacer serio en ninguna rama de la actividad humana si no es dedicándose plenamente a ella (Videira e Puig, 2020, pp. 191-193).

Além da cordialidade, a franqueza com a qual Sábato descreve a sua situação espiritual é um ponto que não pode ser esquecido, uma vez que sabia que a sua decisão repercutiria nos esforços de Beck e Gaviola pela criação de uma comunidade em física. Sábato valorizava a amizade e o comportamento de Beck a ponto de solicitar que a sua decisão fosse avaliada com equilíbrio. Menos de uma semana depois de receber a carta acima, Beck redigiu sua resposta: “Recibí su carta y agradezco su confianza. Me parece que nosotros nos entendemos mucho mejor que Ud. Cree (...). Nunca quise más que conseguir una decisión nítida, seguida por un esfuerzo completo” (Videira e Puig, 2020, p. 196).

Repete-se, mais uma vez, a necessidade de se tomar uma decisão clara e inequívoca, capaz de provocar ações coerentes. Beck mostrava-se satisfeito por Sábato ter um propósito. Apesar de os dois concordarem em pontos relevantes, em outros, persistiam diferenças. Uma delas dizia respeito à existência de vocações. Sábato acreditava que, sem vocações, os seres humanos estariam condenados a viver de modo fútil e inútil. Beck era menos rígido neste ponto:

“Yo no conozco “vocaciones”, que conozco son deseos y contradicciones entre ellos. Hay que elegir un, hay que cuidar este deseo, hay que desarrollarlo, hay que luchar para el y hay que matar todos los demás deseos contrarios. Es un proceso difícil y doloroso. A mí me costó 12 años y unos 300 colapsos nerviosos. Pero lo aseguro que vale la pena. Y le felicito sinceramente de su decisión” (Videira e Puig, 2020, p. 196).

Os termos usados por Beck sugerem que o seu tom foi distinto daquele que o futuro escritor lhe atribuiu na sua autobiografia. O físico austríaco não se limitou a relatar como ele mesmo tinha conseguido encontrar tranquilidade espiritual uma vez feita a sua escolha; ele foi além, emitindo sua opinião sobre a questão da adoção dos padrões adequados:

Sacrificar un deseo fuerte es un proceso complicado. Hay que obtener el mayor provecho posible de tal sacrificio. Hay que saber porque se hace este sacrificio. En su caso, como perdemos en Ud. un físico muy capaz en el cual tuvimos muchas esperanzas, este quiere decir, que hay que tomar, en la literatura, buenos “standards”. Sacrificar la física, tomando como standard la literatura argentina? No. Tomando como standard la literatura castellana (o más)? Si (Videira e Puig, 2020, pp. 196-197).

Beck repete a posição de Gaviola sobre a importância de escolher excelentes modelos como inspiração. Tempos depois, Sabato enviou nova correspondência em tom amigável, sem deixar de comentar a sua mágoa causada pela palestra de Beck em La Plata, dada meses antes:

Querido Beck:

Recibí su carta y su conferencia, envíos que mucho agradezco. Me dice usted en la dedicatoria que no hay mala intención y yo le creo. Sé que todas sus observaciones están inspiradas en los propósitos más honrados y en la moral más severa; no creo. por otra parte, que los mejores amigos sean los que halagan. (...) En la conferencia usted ridiculiza mi posición y sugiere o dice directamente que ha sido dictada por el afán de obtener “más a precio más bajo”, por el lado donde no hay dificultades. (...) (Videira e Puig, 2020, pp. 210-211).⁵

Beck respondeu, não imediatamente, mas, após alguns dias, a fim de diminuir a tensão:

Mi querido Don Ernesto,

Huuh... que carta fea. Estoy siempre muy agradecido por cada crítica que se me hace, pero pensaba que estamos mucho mas de acuerdo con nuestras tendencias respectivas. (...) ... Ud. eligió la literatura para dedicarse enteramente a ella. Yo lamenté sinceramente que Ud. está, de esta manera, perdido para la física, pero respeté altamente su elección y su manera de tomarla en serio (Videira e Puig, 2020, p. 212).

Beck, escaldado pelas adversidades vividas até chegar a Argentina, achava que a vocação não era suficiente para conduzir uma vida. Após a resposta de Beck, não houve mais troca de cartas.

Os eventos de 1944 fizeram com que Beck não se iludisse sobre as dificuldades do trabalho a ser feito, já que envolveram duas promessas da física argentina. Os trechos das cartas reproduzidos são suficientemente eloquentes para mostrar que a visão de mundo compartilhada por Beck e

⁵ Sabato refere-se à conferência que Beck deu em La Plata no primeiro semestre de 1944, posteriormente publicação no órgão oficial dos matemáticos argentino: Beck (1944).

Gaviola não era aquela desejada por Bunge e Sábato. Ainda assim, os dois cientistas sêniores não desistiram de implantar suas ideias.

Bibliografia

Beck, G. (1944) Algunas palabras sobre los trabajos de física teorica. *Revista de la UMA*, 10(2), 33-36.

Beck, G., Gaviola, E. (1946) Reuniones científicas y técnicas. *Ciencia e Investigación*. 2(2), 81-83.

Bunge, M. (2014) *Memorias entre dos mundos*. Gedisa/Eudeba.

Sábato, E (2006) *Antes del fin*. Emecé Editores.

Videira, A. A. P., Puig, C. F. (2020) *Guido Beck – the career of a theoretical physicist seen through his correspondence*. Livraria da Física.

Westerkamp, J. F. (1975) *Evolución de las ciencias em la Republica Argentina 1923-1972. Tomo II Física*. Sociedad Científica Argentina.

Westerkamp (1995) My relationship with Guido Beck and the foundation of the AFA, *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 67(Suplemento 1), 79-84.

Wittgenstein, L. (1975) *Tractatus Logico-Philosophicus*, 14ed, Madrid. Alianza.



ISBN 978-950-33-1721-1



9 789503 317211

ciffyh

Centro de Investigaciones
María Saleme de Burnichon
Facultad de Filosofía y Humanidades | UNC

..
Área de
Publicaciones

ffyh

Facultad de Filosofía
y Humanidades | UNC



Universidad
Nacional
de Córdoba