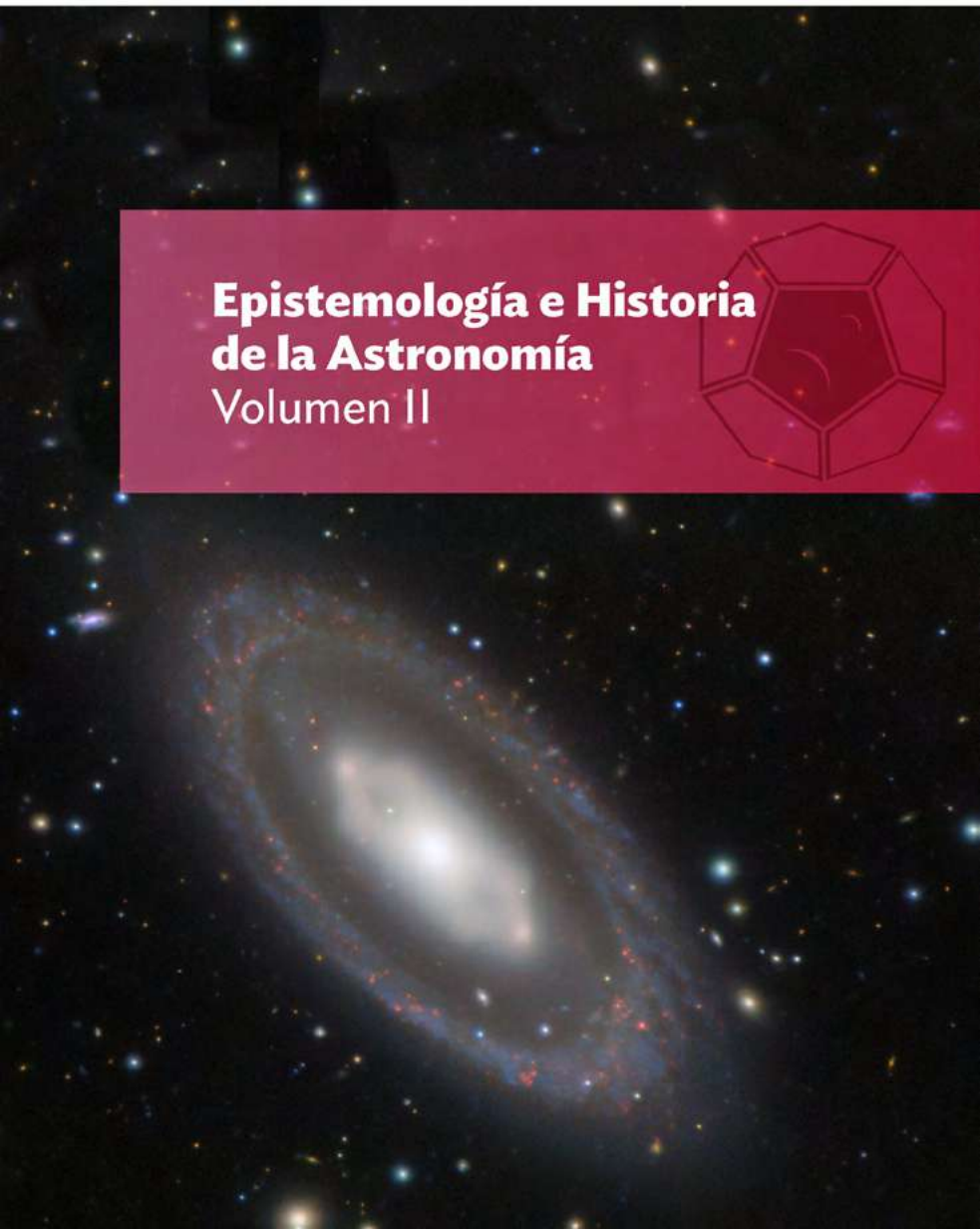


Maximiliano Bozzoli
David Merlo
Santiago Paolantonio
(Eds.)

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



Epistemología e Historia de la Astronomía

Volumen II

Maximiliano Bozzoli
David Merlo
Santiago Paolantonio

(Eds.)

Colecciones
del CIFYH



Epistemología e historia de la astronomía. Volumen II / Maximiliano Bozzoli ... [et al.]; Editado por Maximiliano Bozzoli; David Merlo; Santiago Paolantonio. - 1a ed. - Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Filosofía y Humanidades, 2025.

Libro digital, PDF - (Colecciones del CIFFyH)

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-950-33-1873-7

1. Astronomía. I. Bozzoli, Maximiliano II. Bozzoli, Maximiliano, ed. III. Merlo, David, ed. IV. Paolantonio, Santiago, ed.

CDD 215.2

Publicado por

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

Córdoba - Argentina

1º Edición



Área de

Publicaciones

Diseño gráfico y diagramación: María Bella

2025



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons

Reconocimiento – Compartir Igual (by-sa)

Epistemología e Historia de la Astronomía

Volumen II



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: Lic. Isabel Castro Olañeta

Secretaría 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. María Angélica Vega

Área Filosofía: Dra. Natalia Lorio

Área Ciencias Sociales: Dra. Cecilia Inés Jiménez

Índice

13 | Prólogo

17 | Observaciones y simulaciones en las prácticas astronómicas

por Maximiliano Bozzoli y Xavier Huvelle

43 | Equivalencia empírica y subdeterminación de los modelos astronómicos. De Hiparco a Copérnico

por Alejandro Cassini

65 | The Carte du Ciel: an early global cooperation project

por Ileana Chinnici

87 | El Observatorio Astronómico de La Plata: Astronomía y Arquitectura / permanencias y transformaciones, 1883-1923

por Lydía Cidale, Fernando Gandolfi y Agustín Ramos Costa

113 | La Búsqueda de una Inteligencia Extraterrestre, Inteligencia Artificial y Noosfera

por José G. Funes

129 | Sobre el carácter disciplinar de la Cosmoquímica

por Laura N. García, Gabriel Paravano y Marcela Saavedra



147 | Historia y didáctica sobre la medición de la velocidad de la luz

por Rafael Girola Schneider

167 | Natureza sublunar e harmonias celestiais no Livro IV da Harmonia do mundo de Kepler

por Anastasia Guidi

179 | Releyendo las “Photometric Researches” de C. S. Peirce

por Catalina Hynes

195 | Mercurio y su perihelio

por Víctor Rodríguez y Pedro W. Lamberti

205 | Nuevos aportes y reflexiones en torno a los asterismos moqoit y síntesis de sus relaciones con los meteoritos de Campo del Cielo

por Alejandro M. López

239 | Atmósferas estelares Wolf-Rayet y la dinámica de las clasificaciones

por Hernán Miguel

259 | “Las luces de San Cristóbal” y las heladas: un estudio etnoastronómico de relaciones con rasgos de contaminación lumínica en cielos de contextos rurales

por Armando Mudrik

275 | Experiencia y relatividad: Comentarios sobre la teoría de la relatividad de A. N. Whitehead

por Bárbara Páez Sueldo

287 | Evolución del empleo de la técnica fotográfica en el Observatorio Nacional Argentino

por Santiago Paolantonio



323 | Puesta en valor museológica y astronómica de placas espectrográficas

Romina Peralta, Mónica López, Matilde Iannuzzi, Yael Aidelman, Roberto Gamen y Lydia Cidale

343 | Tres intentos fallidos para determinar la órbita de Marte

por Sandra L. Ponce

363 | Más allá de los patrones y las correlaciones:

de los datos al understanding

por Julián Reynoso y Andrés Ilcic

381 | Edwin Hubble and Cepheids: Clinching the Case for Galaxies and Remaking the Andromeda Nebula

por Robert W. Smith

399 | 'Cultivar el cielo'. Trabajar la tierra al ritmo del cosmos:

una aproximación etnográfica a la Agricultura Biológico Dinámica

por Fiamma Villa



Prólogo

Nos complace presentar el Volumen II de Epistemología e Historia de la Astronomía, el segundo de una serie que esperamos se prolongue en el tiempo. Se trata de una selección de trabajos presentados en las Segundas Jornadas del mismo nombre (JEHA-II) que tuvieron lugar, esta vez de manera híbrida, presencial y virtual, el 23 y 24 de noviembre del año 2023, en el Auditorio “Dra. Mirta Mosconi”, del Observatorio Astronómico de la Universidad Nacional de Córdoba. Como lo expresamos en el primer volumen, es nuestra intención que los artículos incluidos en el presente 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. En esta edición se ha contado con varios participantes destacados, tanto nacionales como del exterior, los que se han multiplicado significativamente.

Deseamos recordar el proceso de evaluación que venimos utilizando para estos volúmenes, 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/as. 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/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-II, conformado por: Prof. Víctor Rodríguez, Dr. Aarón Saal, Dra. Marisa Velasco, Dr. Chistián Carman, Dr. Hernán Severgnini, Dr. Néstor Camino, Dra. Marina Rieznik, Dr. Pío García y 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. Asimismo, queremos agradecer a las autoridades del Observatorio Astronómico de la Universidad Nacional de Córdoba, a su Directora Dra. Mercedes Gómez y a su Vicedirectora Dra. Andrea Ahumada, al personal de la Biblioteca y del área de TIC, por el apoyo institucional y técnico y por su predisposición ante esta propuesta interdisciplinaria. En particular a la Bibl. Verónica Lencina (Comité Organizador), al Lic. Omar Silvestro (Comité Organizador) y al Dr. Andrés Ilcic, sin los cuales hubiera sido muy difícil llevar la propuesta mixta en sus aspectos técnicos, así como a nuestra estimada Cecilia Quiñones. 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 las/os evaluadoras/es anónimas/os por la tarea minuciosa y desinteresada que hicieron en cada uno de los trabajos de este volumen. Agradecemos además a la Mgter. María Bella por la gran labor realizada en el diseño y diagramación del presente libro.

Por último, queremos destacar que en la página web de las Jornadas de Epistemología e Historia de la Astronomía, la que puede consultarse en el vínculo https://jeha.oac.unc.edu.ar/?page_id=528, el lector tiene a disposición todo lo referente a las Segundas Jornadas, una extensa galería de imágenes y en el canal YouTube todas las charlas expuestas.

*Dr. Maximiliano Bozzoli, Dr. David Merlo,
y Mgter. Ing. Santiago Paolantonio (Editores)*





Observaciones y simulaciones en las prácticas astronómicas

Maximiliano Bozzoli*

Xavier Huvelle*

Resumen

El rol que ocupa la computación en los laboratorios astronómicos actuales es crucial. Uno de sus frentes más importantes se vincula con el diseño, construcción y uso de simulaciones. Los resultados alcanzados por estas últimas se comparan con aquéllos obtenidos a través de las observaciones tradicionales. Este contraste permite diferentes maneras de validación externa. Parte de la comunidad astronómica emplea simulaciones para generar conocimientos. Desde este enfoque, los datos simulados se encuentran en el mismo estatus epistémico que aquéllos adquiridos por la vía observacional clásica. Es posible realizar simulaciones de observaciones concretas, como así también de objetos, propiedades y ciertos procesos astrofísicos. Estas últimas contienen datos observacionales, como condiciones iniciales y de contorno, permitiendo la selección y el ajuste de parámetros físicos en las diferentes etapas del modelado del fenómeno bajo investigación. A diferencia de las simulaciones de las observaciones, las cuales restringen notablemente el espacio de soluciones posibles, esta otra clase de simulaciones presentan parametrizaciones que poseen un alto grado de libertad. Ello puede conducir a resultados simulados correctos, pero no concordantes con las observaciones, es decir, a inferencias verificables pero no chequeables empíricamente. Aquí, se intentará dilucidar qué clase de conocimientos astronómicos son generados y en qué contextos.

* Centro de Investigaciones de la Facultad de Filosofía y Humanidades, Universidad Nacional de Córdoba (CIFYH, UNC) – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

* Centro de Investigaciones de la Facultad de Filosofía y Humanidades, Universidad Nacional de Córdoba (CIFYH, UNC) – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Palabras clave: Modelos, observación, simulación, validación, astronomía

Abstract

Computing plays a crucial role in today's astronomical laboratories. One of its most important areas is related to the design, construction and use of simulations. The results obtained by them are compared with those obtained through traditional observations. This contrast allows different ways of external validation. Part of the astronomical community uses simulations to generate knowledge. From this perspective, simulated data have the same epistemic status as those acquired through classical observations. It is possible to carry out simulations of specific observations, as well as of objects, properties and certain astrophysical processes. The latter contain observational data, such as initial and boundary conditions, allowing the selection and adjustment of physical parameters at different stages of modelling the phenomenon under investigation. Unlike simulations of observations, which significantly restrict the space of possible solutions, simulations of phenomena present parameterisations that have a high degree of freedom. This can lead to simulated results that are correct but not consistent with observations, i.e. to inferences that are verifiable but not empirically testable. Here, we will try to analyse what kind of astronomical knowledge is generated and in what contexts.

Keywords: Models, observation, simulation, validation, Astronomy

I. Introducción

A partir del desarrollo considerable que ha sufrido el concepto de observación en las últimas décadas de la astronomía, el rol que ocupa la computación en los laboratorios astronómicos se ha tornado imprescindible. Uno de sus frentes más notables está ligado a la implementación de tecnologías informáticas en la automatización de los sistemas instrumentales vigentes. Más allá de la parafernalia de elementos tecno-científicos asociados a las prácticas actuales, otro de los frentes más importantes se relaciona con el diseño, construcción y uso de simulaciones computacionales. Los resultados alcanzados por estas últimas se comparan, de alguna u otra

forma, con aquéllos obtenidos a través de las observaciones tradicionales. Este contraste permite diferentes maneras de validar externamente a las simulaciones (Guillemot, 2010; Reiss, 2019; Bozzoli y Paz, 2023).

Al margen de las estrategias de validación disponibles, parte de la comunidad astronómica sostiene que el empleo de las simulaciones permite generar conocimientos. Desde este enfoque, los datos simulados se encuentran en el mismo estatus epistémico que aquéllos adquiridos por la vía observacional clásica. De esta manera, es posible realizar simulaciones de observaciones concretas (Wilson, 2017). La reproducción de estas últimas, permite la elaboración de catálogos sintéticos (virtuales o simulados) de galaxias, por ejemplo. En este sentido, el modelo de simulación considera no sólo el modelo del fenómeno astrofísico en cuestión, sino también un modelo de observación específico. Este último recoge aspectos inherentes a un hecho o situación observacional particular, tales como: la configuración y los ruidos intrínsecos de las plataformas multi-instrumentales, las perturbaciones ocasionadas por los medios naturales, el lugar físico del observador y sus efectos de proyección, entre otros errores metodológicos. Este tipo de simulaciones no sólo considera los datos de las observaciones convencionales, sino que además pondera entre sus diferentes fases de adquisición y de procesamiento. De esta forma, importan tanto los variados mecanismos instrumentales de producción de datos, como las maneras en la cuales se reducen mediante los auxiliares y herramientas astro-informáticas. En esta dirección, la observación (como un todo) es entendida, desde estas prácticas astronómicas, en términos de una dinámica proceso-producto (Bozzoli, 2019).

Otro tipo de simulaciones pretenden modelar ciertos fenómenos astrofísicos, considerando solamente los resultados observacionales y no sus procesos asociados. Dada la jerarquía de modelos numéricos referidos tanto a la estructura del universo a gran escala como al origen de la misma a partir de la formación estelar y de galaxias, cabe destacar la concordancia entre el modelo cosmológico estándar y los modelos semi-analíticos subyacentes. Estos últimos contienen datos observacionales, como condiciones iniciales y de contorno, que los impregnan empíricamente, posibilitando la selección y el ajuste de parámetros físicos en las diferentes etapas del modelado del fenómeno bajo investigación. A diferencia de las simulaciones de las observaciones, las cuales restringen notablemente el espacio de soluciones posibles, esta otra clase de simulaciones presentan

parametrizaciones que poseen un alto grado de libertad (Heng, 2014). Así, la línea de demarcación entre el uso y el abuso de esta técnica particular es difusa (Overkamp & Roy, 2010). Eventualmente, ello puede conducir a resultados simulados correctos, pero no concordantes con las observaciones, es decir, a inferencias verificables pero no chequeables empíricamente. Sin embargo, otros/as autores/as sostienen, como parte del sentido común filosófico, que el conocimiento inferido por la vía simulacional supera aquél proporcionado por la vía observacional (Jaquart, 2020).

Este trabajo abordará, desde la perspectiva de las prácticas científicas, el inter-juego entre ciertas simulaciones y observaciones astronómicas. Al considerar las diferentes funciones epistémicas que poseen las simulaciones de las observaciones y las simulaciones *per se*, se intentará dilucidar qué clase de conocimientos astronómicos son generados y en qué contextos. Específicamente, se mostrarán algunas limitaciones con respecto a las capacidades predictivas y explicativas de dichas simulaciones y sus alcances (y riesgos) en el entorno inferencial. En este sentido, se adoptará un enfoque moderado con respecto al lugar que ocupan las simulaciones, en términos de verificación y validación, en la astronomía observacional contemporánea.

II. Nociones de observación y de validación

El concepto de observación en astronomía ha sufrido cambios notables en las últimas décadas debido, por un lado, a la resolución de problemas observacionales concretos mediante el modelado computacional de ciertos fenómenos astrofísicos. Por el otro, esta metamorfosis se debe también a técnicas de identificación, de selección y de ajuste de parámetros en las simulaciones empleadas, las cuales son validadas externamente gracias a nuevas observaciones obtenidas por la vía tradicional.

Los primeros abordajes filosóficos sobre tal concepto, sensibles a las prácticas científicas, surgieron a principios de la década de mil novecientos ochenta. Autores como Hacking (1983, 1989), Shapere (1982, 1993), Kosso (1989, 2006), Chang (2004, 2005) y Humphreys (2004, 2013), entre otros, se fueron alejando de las distinciones tradicionales entre entidades observables y entidades inobservables. En general, dichas caracterizaciones de la noción de observación rescatan aspectos propios de las prácticas, remarcando su fuerte dependencia con el desarrollo tecnológico en

el instrumental de observación disponible. En pocas palabras, el debate filosófico clásico en torno al “realismo científico” fue ligeramente atenuado por estos nuevos enfoques, los cuales ponen énfasis en las técnicas asociadas a la sofisticación de los procesos observacionales/experimentales involucrados. Analizar la observación en términos de una dinámica proceso-producto permite ponderar aspectos epistemológicos relevantes, tales como: a) el rol que ocupan las interacciones físicas y no físicas en las prácticas actuales de observación, b) la adquisición, el procesamiento y la codificación de la información observacional y c) la identificación y la clasificación de objetos, propiedades y variados procesos astrofísicos. A continuación se mostrará la evolución de una observabilidad basada sólo en objetos hacia otras que consideran además sus propiedades físicas, como así también cualidades emergentes y relaciones y/o correlaciones entre tales atributos. Para ello, no se desarrollará en detalle cada una de estas posturas mencionadas, sino que se listarán algunos puntos más significativos al respecto.

- Según Shapere (1982), observar es captar la señal física emitida por la fuente hasta un receptor apropiado que transforma el contenido transmitido de tal señal en “información” accesible a los sujetos epistémicos. La observación depende del conocimiento disponible de la fuente, de la transmisión y de la recepción en base a las interacciones físicas fundamentales involucradas en cada caso particular:

“...la especificación de lo que cuenta como directamente observado (observable), y por consiguiente de lo que cuenta como una observación, es una función del estado prevaleciente de conocimiento acerca del mundo físico, y puede cambiar conforme cambia dicho 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 la información de diversos tipos, y el carácter y los tipos de interferencia así como las circunstancias y la frecuencia con la que ésta ocurre.” (Shapere, 1982 [1989], pp. 488-489)

También afirma que:

“...un receptor apropiado puede ahora entenderse como un instrumento capaz de detectar la presencia de tales interacciones y, por consiguiente, de las entidades que interactúan de acuerdo con las reglas o leyes precisas de la física actual ...la ciencia ha llegado cada vez más a excluir tanto como sea posible a la percepción sensorial de jugar algún papel en la adquisición de evidencia observacional; esto es, la ciencia confía cada vez más en otros receptores apropiados.” (Shapere, 1982 [1989], pp. 504-507)

- Kosso (1989) sostiene que la observabilidad, caracterizada en términos de pares ordenados, está basada en los objetos y en sus respectivas propiedades físicas, las cuales se hallan con éstos relacionadas causalmente. A diferencia de Shapere, él propone que el concepto de observación no sólo hace referencia a la naturaleza física de la señal, sino además a la señal como transporte de la información. Dicha “señal subrogada”, por decirlo de algún modo, posee un gran contenido informativo, el cual requiere de niveles interpretativos muy variados. Este autor no establece una diferencia precisa entre la señal física y el contenido que acarrea la misma. Sin embargo, en vez de discriminar señal de ruido, Kosso (2006) sugiere distinguir información relevante de no relevante. Así, él propone que la observabilidad posee dimensiones (no físicas) tales como el número de intermediarios entre el sujeto epistémico y el objeto bajo estudio, entre otras.

“El par ordenado $\langle x, P \rangle$ es observable en la medida en que pueda haber una interacción (no física) o una cadena de éstas entre el objeto y el sistema observacional tal que la información de que x es P se transmite al aparato y, eventualmente, al científico humano.” (Kosso, 1989, p. 451)

- Por su parte, Chang (2005) asevera que la observabilidad es fundamentada a partir de propiedades observables cualitativas y/o cuantitativas asociadas no sólo a objetos concretos, sino además a diversos procesos físicos. A diferencia de los dos autores citados anteriormente, este último sostiene que en dichos tratamientos sigue habiendo una fuerte dependencia hacia los objetos. A propósito, Chang (2004) se refiere al descubrimiento de William Herschel de la radiación infrarroja. Al situar un termómetro en la sombra cercana al color rojo del espectro continuo del Sol, Herschel observó que este aparato registraba un incremento en la

temperatura. La propiedad medida no se correspondía con ningún objeto específico conocido, lo cual se debía a la incapacidad (tanto explicativa como predictiva) de las teorías de ese entonces y al abandono de interpretaciones y de hipótesis alternativas respecto al correcto uso de los instrumentos empleados. Al igual que Hacking (1983), quien también considera este caso particular, además de reafirmar encuentros felices entre la observación y la teoría, menciona que hay observaciones que son dignas de atención. Esta últimas aluden a la presencia, en la historia de la ciencia, de observaciones “puras” o pre-teóricas.

- Por último, Humphreys (2004) afirma que los instrumentos sirven como detectores de propiedades. Este autor considera que un objeto, atributo o propiedad física no observada 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. En este sentido, una división tajante entre observables e inobservables no se ajusta a la ciencia actual: cuando un fenómeno se observa, éste posee la capacidad disposicional de ser observable, dado que es posible crear una situación experimental dentro de la cual es observado. Lo que justifica las creencias sobre la existencia de un objeto, propiedad o proceso físico particular es la instrumentación disponible. Esta última depende del desarrollo tecnológico y ofrece las garantías epistémicas sobre cualquier cambio de estado que pueda tener el fenómeno observado, preservando así la identidad de la entidad considerada. Humphreys (2013) sostiene que el estatus de los datos producidos por diversos mecanismos, tales como aparatos convencionales de observación o simulaciones computacionales, no depende sólo de cómo fueron generados. Este autor establece una distinción para referirse tanto al origen de los datos como a su contenido informativo, el cual se constituye principalmente de información acerca del modelo del fenómeno físico en cuestión. Al extender la noción de dato, incluyendo fuentes computacionales como mecanismos de producción alternativos, la observación de los fenómenos se daría a través de las relaciones y de las correlaciones entre las propiedades tanto observacionales como simulacionales.

Más allá de su procedencia, estos datos suelen estar copiados y estandarizados en bases o conjuntos modulares interconectados. Un ejemplo actual son los observatorios astronómicos virtuales. Estas plataformas informáticas permiten el acceso a la información disponible, no sólo almacenando grandes volúmenes de datos, sino posibilitando su exploración y

análisis. En algunos casos, el procesamiento consiste en contrastar datos provenientes de observaciones con datos producidos por simulaciones. Ello permite una validación o valoración de tipo externa entre ambos.

Por otro lado, cabe destacar la importancia que poseen tanto el modelado computacional de ciertos fenómenos astrofísicos, como las simulaciones de éstos en las prácticas de observación más recientes de la astronomía. Los resultados de tales simulaciones suelen relacionarse con aquéllos obtenidos observacionalmente, logrando así una forma de validación mutua. Estos modelos de contraste permiten la comparación de los resultados alcanzados tanto por la vía simulacional, como por aquella tradicional. No obstante, algunos/as autores/as aseguran que no hay un protocolo de validación y, por ende, existen diferentes tácticas que son empleadas conforme a las prácticas. Dada la heterogeneidad de éstas últimas, Guillemot (2010) establece que una estrategia posible consiste en validar inicialmente las simulaciones con datos observacionales; otra logra la validación a través de la parametrización conforme a nuevos datos disponibles. Debido a que los resultados de las observaciones y de las simulaciones son comparables entre sí, ellos podrían alcanzar el mismo estatus o nivel epistémico. En resumen, esta autora sostiene que la validación inicial o “*top-down*” compara los resultados de simulaciones, a gran escala por ejemplo, con aquéllos provistos por bases de datos observacionales. Al ser inicialmente validadas, estas simulaciones son capaces de ofrecer propiedades físicas semejantes a las observadas con los instrumentos tradicionales. Otra de las estrategias sugeridas por ella es la validación “*bottom-up*”. La misma se logra a través de la selección y ajuste de parámetros físicos en una simulación particular, conforme a los resultados obtenidos de otras simulaciones específicas, las cuales ya han sido validadas externamente por observaciones. Esta práctica permite identificar las variables más relevantes en el modelo computacional del fenómeno bajo estudio.

En esta dirección, resulta de crucial importancia el inter-juego entre modelos de datos distintos. Así, al establecer vínculos entre variadas bases de datos pueden emplearse estrategias que impregnan y transfieren, directa o indirectamente, contenido empírico a la simulación en cuestión. A los fines de este artículo, cabe destacar que Guillemot también sostiene que una simulación puede poseer errores de compensación, lo que significa que la misma puede ser “correcta” a partir de ciertas razones equivocadas. Por ejemplo, una hipótesis relacionada a una representación imprecisa

del fenómeno puede generar resultados simulados que concuerdan con las observaciones disponibles y, de todas formas, ser validados. Más allá de que las parametrizaciones permitan evaluar verticalmente las simulaciones, de forma inicial y/o a través de las soluciones arrojadas por otras simulaciones de menor escala ya valoradas, hay otros enfoques. Éstos sugieren estrategias que posibilitan validaciones horizontales “*from side to side*” entre modelos alternativos de fenómenos (Bozzoli y Domínguez, 2023). Estas prácticas de validación (lado a lado) permiten establecer tanto similitudes, como un rastreo procesual comparativo entre diferentes modelos alternativos y de cierta manera entre simulaciones y observaciones. Por su parte, Reiss (2019) propone examinar argumentos a favor y en contra de validaciones externas. En pocas palabras, este autor sostiene que la validación depende de la capacidad epistémica de cada modelo involucrado (observacional o simulacional) para realizar inferencias confiables que son extrapoladas al otro modelo, y viceversa. Según este autor, la implementación de estrategias como la analogía, la similitud y la comparación son imprescindibles para la validación externa tanto de simulaciones como de observaciones.

III. Simulaciones de observaciones y simulaciones *per se*

Por un lado, se hallan las simulaciones de observaciones u observaciones virtuales. En éstas el modelo de simulación tiene en cuenta no sólo el modelo del fenómeno astrofísico, sino también un modelo de observación específico. Este último incluye aspectos relacionados con un hecho o situación observacional particular, tales como: la configuración y los ruidos intrínsecos de las plataformas multi-instrumentales, las perturbaciones provocadas por los entornos naturales, la ubicación física del observador y sus efectos de proyección, entre otros errores metodológicos y eventuales sesgos presentes. A propósito, Wilson (2017) sostiene:

“These mock catalogues are produced by placing an observer at a strategic point (usually the centre) of the simulation, and recording what they ‘see’. They are the simulated equivalent of the data produced by galaxy surveys conducted by ground and space telescopes.” (Wilson, 2017, p. 4)

Esta autora afirma que estos catálogos simulados (*mock*) también sirven para probar y entrenar algoritmos que permiten la identificación y la clasificación de fenómenos astronómicos, para luego ser empleados en diferentes bases de datos observacionales. Así, al simular un hecho o situación de observación concreta, los científicos pueden analizar las diversas fuentes presentes en la simulación de la observación y cotejarlas y compararlas con los catálogos logrados por la vía observacional clásica. El uso de un programa o sistema experto entrenado, asistido por el operador humano, permite que una clasificación sea exitosa, es decir, sin errores que provengan de una mala identificación: “This information can be used to assist in the interpretation of observational data by, for example, testing a procedure on simulated catalogues for identifying and weighing clusters of galaxies in real redshift catalogues.” (Wilson, 2017, pp. 4-5). Ella presenta un claro ejemplo [Fig. 1]:

“Illustris offers a comparison of virtual mock observations that mimic the conditions that the Hubble Space Telescope encounters as it images galaxies...The two images are not identical in content, but they are quite indistinguishable in type) it is quite impossible to tell, without the caption, which image was produced with a simulated telescope aimed at a simulated universe, and which was produced with a real instrument.” (Wilson, 2017, p. 6)

Además sostiene:

“Illustris and EAGLE are using the persuasive technique of visualisation to demonstrate that not only do the simulations reproduce accurate results, but that these results are close to reality. The closer to reality the visible aspects of the simulation, the more faith we have in the reality of the invisible, or dark, aspects... This sense of realism, generated from the increasing complexity of astrophysical simulations, assists in understanding how virtual worlds can produce their own observations.” (Wilson, 2017, p. 6)



Figura 1. Imagen del campo ultra profundo obtenida por el Telescopio Espacial Hubble (izquierda) y reproducción de la misma observación vía la simulación *Illustris* (derecha). Créditos: Vogelsberger et al. (2014a). *Nature*

Por otro lado, como se mencionó anteriormente, es posible identificar simulaciones de fenómenos o *per se*. Además de incluir las simulaciones de las estructuras del universo a gran escala, éstas abarcan fenómenos específicos y varían según los objetos, propiedades o procesos astrofísicos involucrados [Fig. 2]. El volumen y la resolución de cada simulación dependerán del modelo numérico considerado, ya sea de partículas o hidrodinámico. Estos modelos representan el comportamiento y la distribución de la materia ordinaria y de la materia oscura [Fig. 3].

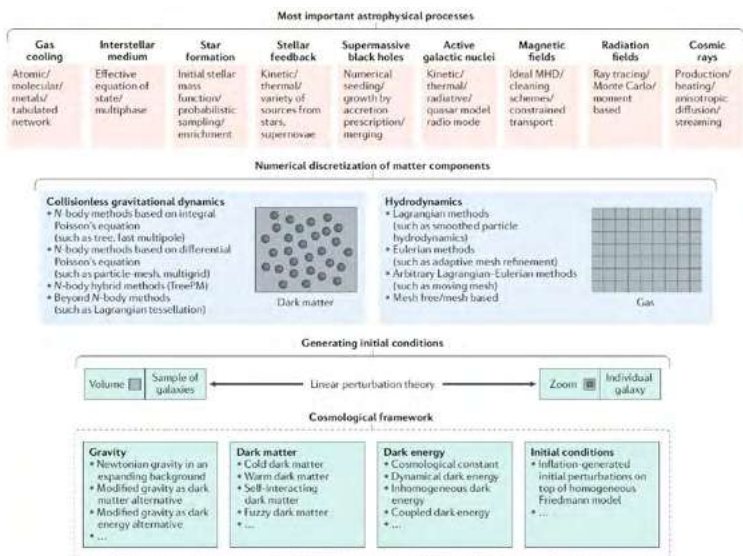


Figura 2. Representación de los variados procesos astrofísicos

Créditos: Vogelsberger et al. (2020). *Nature Reviews Physics*

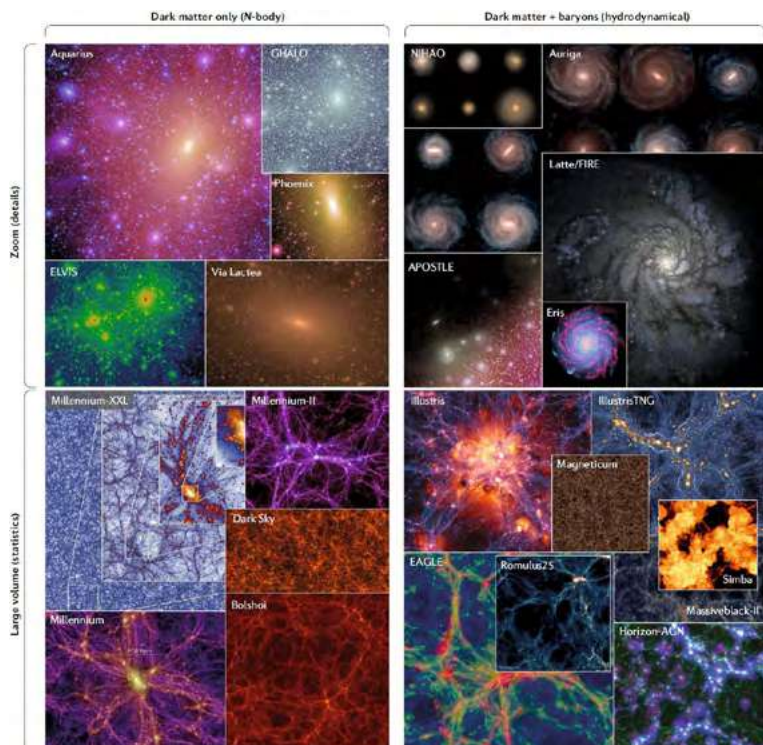


Figura 3. Ejemplos de simulaciones de fenómenos particulares (arriba) y cosmológicas (abajo). Créditos: Vogelsberger et al. (2020). *Nature Reviews Physics*

En esta dirección, Jacquart (2020) sostiene que la innovación tecnológica ha marcado una línea sin precedentes en la comprensión actual que se tiene del universo mediante el uso de estas simulaciones. La astrofísica reciente emplea este recurso computacional para generar conocimientos acerca de los sistemas que lo pueblan. Las caracterizaciones de éstos últimos van más allá de las inferencias logradas sólo a partir de las observaciones. Resultando así evidente la problemática epistemológica respecto de

si las simulaciones son auténticas productoras de nuevos conocimientos y de eventuales descubrimientos. Ella sostiene:

“It is clear that astrophysicists routinely use simulations to generate knowledge about systems in the universe that goes beyond the knowledge inferred from observations alone... However, there is philosophical debate about whether simulations can genuinely produce knowledge about the world.” (Jacquart, 2020, p. 2)

De esta manera, las simulaciones se construyen utilizando conocimientos previos sobre estructuras y fenómenos astrofísicos, ya sean teóricos u observacionales. El interés de esta autora radica en aquéllos datos observables que representan instantáneas de ciertos sistemas, las cuales son empleadas como base para poder simularlos. Además de examinar el rol inferencial de las simulaciones, ella intenta mostrar que éstas poseen tres capacidades epistémicas cruciales que permiten: chequear las hipótesis de un modelo, explorar el espacio de parámetros y amplificar las observaciones. Esto da lugar a ciertas interrogantes sobre cómo interactúan en las prácticas las simulaciones con las observaciones al momento de evidenciar un fenómeno particular. Lejos del gran debate sobre la incapacidad de llevar a cabo experimentos estrictos en astronomía y, más allá de las observaciones disponibles, las simulaciones son el único medio para investigar aquellos sistemas que evolucionan en tiempos y escalas astronómicas. De esta manera, el conocimiento en esta disciplina podría entenderse con el uso de simulaciones, las cuales proporcionan información observacional que no es accesible de otra forma. Esta autora afirma que:

“This raises philosophical questions about how observations and computer simulations work together to develop evidence and justify epistemic claims about astrophysical phenomena. Beyond mere observation, computer simulations are generally the only means by which to investigate the systems of interest... If astrophysics is expanding its knowledge using simulations, then it seems simulations can be a legitimate route to knowledge.” (Jacquart, 2020, pp. 5-6)



Jacquart menciona como estudio de caso la colisión de las galaxias anulares o de anillo, aludiendo al rol destacado de las simulaciones en los procesos de evolución y en la formación de rasgos estructurales morfológicos. Sin entrar en detalles técnicos, esta autora ilustra además cuál ha sido el desarrollo de las simulaciones de estos sistemas en las últimas décadas: destacando el avance de modelos de simulación basados en partículas a otros que incorporan la dinámica del gas, entre otras magnitudes físicas como la densidad del mismo y la materia oscura circundante. Cada uno de estos parámetros puede ser ajustado a fin de explorar y de analizar el impacto que tienen en las propiedades observables, como la formación de estructuras (*spokes*), en dichos sistemas de galaxias. Una de las capacidades epistémicas que poseen las simulaciones astrofísicas es el testeado de hipótesis. Ello significa que los científicos suelen desarrollar algunos de estos supuestos específicos y determinan, vía simulaciones, su grado de veracidad o bien la posibilidad de su refutación. Según esta autora:

“By this I mean cases when a scientist develops a specific hypothesis and uses a simulation to determine the likelihood of the hypothesis, or to refute it completely. In the context of astrophysics, the simulation data is compared to observational data, and this helps determine the trustworthiness of the simulation. But again, due to the methodological challenges in astrophysics, comparison with observational data is extremely limited, and in some cases impossible because there are no observations.” (Jacquart, 2020, pp. 10-11)

Las eventuales hipótesis son testeadas a través de la construcción de simulaciones basadas en un marco de conocimientos observacionales. No obstante, esta autora sugiere que este último es muy acotado dado que en ciertos casos concretos no hay observaciones disponibles o son escasas. Otra de las características de dichas simulaciones consiste en explorar el espacio de posibilidades a través de prácticas de parametrización: “By this I mean running a simulation with multiple different parameterizations to establish an understanding of the boundaries inside which a phenomena takes place” (Jacquart, 2020, p. 12). Al correr una simulación con diversos ajustes en los parámetros físicos del modelo, las distintas soluciones arrojadas permiten comprender los límites o condiciones de contorno dentro de los cuales suceden ciertos fenómenos. Además, pese a la susceptibilidad

de los fenómenos complejos involucrados, la variabilidad de las condiciones iniciales establece cierta restricción sobre lo que no puede suceder. Ella sostiene que la información provista por las instantáneas (*snapshots*), logradas mediante las observaciones de ciertos objetos, puede dar lugar a una primera investigación. No obstante, sólo a través del empleo de simulaciones puede determinarse las condiciones límite y definirse el espacio de posibilidades en el cual se desarrolla y evoluciona un sistema astrofísico particular. Esta autora apela al argumento de la robustez, comparando las predicciones alcanzadas por distintos modelos construidos, los cuales se basan en supuestos similares. Ahora bien, ¿qué ocurre en aquellos casos donde no hay observaciones disponibles (o suficientes) de los estados o instancias finales de un proceso astrofísico exótico? Jacquart no responde puntualmente esta interrogante. Propone así una tercera capacidad epistémica de las simulaciones, a saber: la amplificación de las observaciones. En general, estas últimas se dan cuando los resultados alcanzados por una simulación proporcionan un nuevo contexto (a veces inesperado) en el cual se reinterpretan los datos observacionales disponibles. Según Jacquart:

“...occurs when the output of a simulation provides a new... context in which to interpret the data present in the observation... allow... to yield more information out of observational snapshots... provide a means by which to learn about features of the target system that they did not know about before, thus enhancing the information derivable from the observations.” (Jacquart, 2020, pp. 14-15)

Esta autora muestra dicha capacidad al considerar el ejemplo que propone, en particular la evolución de galaxias anilladas colisionales y la formación de estructuras como los rayos de la rueda (*spokes*) presentes en las regiones centrales de esta clase natural de objetos. Sin embargo, un estudio reciente reveló una simetría hexagonal sorprendente en la formación del centro de una exótica galaxia anular NGC 7020 (Dottori et al., 2021). Este último caso específico muestra que el descubrimiento fue estrictamente observacional y no se emplearon simulaciones que pudieran predecir la misteriosa forma geométrica que compone el núcleo de este fenómeno, ni tampoco las extrañas “asas” observadas. Más allá de la casuística, Jacquart insiste en que las simulaciones pueden arrojar resultados singulares, los

cuales generan un contexto muy peculiar que permite reinterpretar los datos obtenidos por la vía tradicional. Se considera aquí que el enfoque propuesto por esta autora conduce a un doble riesgo innecesario. Por un lado, es claro que en casos concretos donde la disponibilidad de datos observacionales es escasa o nula, las simulaciones no pueden ser validadas externamente. Esto conduce a establecer inferencias inciertas y a lograr datos simulados imprecisos, ya que no hay restricciones en el espacio de posibilidades. Por otro lado, no se entiende a qué tipo de contexto se está refiriendo y en qué ámbito. Más allá de las distinciones clásicas y actuales entre diferentes caracterizaciones de contextos en filosofía de las ciencias, ella establece un entorno novedoso e incierto para interpretar las observaciones y así amplificar propiedades o características observables de los fenómenos en cuestión. De ninguna manera queda claro el ámbito al cual se está refiriendo, sea teórico u observacional; sino más bien parece que alude a un marco especulativo de elucubraciones e inferencias, ausente de restricciones y sin permeabilidad empírica. En resumen: las instantáneas obtenidas de los distintos fenómenos que conforman el universo observable, hacen referencia a objetos específicos, a alguna de sus propiedades o a ciertos procesos involucrados. Sólo al comparar estas instantáneas con otras similares, las cuales supuestamente muestran distintos estados evolutivos, es posible realizar un “salto” inferencial que garantiza la pertenencia a la misma clase natural. Un contexto observacional estricto permite integrar las variadas imágenes correspondientes a un proceso astrofísico dado, tal como lo representan el *Atlas de Galaxias Peculiares* (Arp, 1966) o el *Atlas de Galaxias Australes* (Sérsic, 1968), entre otros más. A diferencia, las simulaciones de tal proceso no garantizan que cada instancia del mismo sea igual. Precisamente, sobre la misma base de datos observacionales pueden construirse simulaciones fiables, acotadas empíricamente. De lo contrario, las soluciones arrojadas pueden considerarse tan solo meras ficciones ajenas al contexto propio de las prácticas observacionales astronómicas. Las imágenes obtenidas de NGC 7020 revelan una estructura central en forma de anillo hexagonal con “asas” conspicuas en dos de los vértices diametralmente opuestos [Fig. 4].



Figura 4. Imagen del centro galáctico hexagonal de NGC 7020. Créditos: *International Gemini Observatory/NOIRLab/NSF/AURA/H. Dottori, R. J. Díaz, G. Gimenol* Image processing: T. A. Rector (University of Alaska Anchorage/NSF NOIRLab), M. Zamani (NSF NOIRLab) & D. de Martin (NSF NOIRLab)

Se infiere que estas características inusuales observadas se deben a que un número considerable de estrellas orbitan el centro galáctico, con trayectorias que atraviesan regiones más y menos densas, provocando una rara resonancia orbital. Estas instantáneas representan visualmente un estado evolutivo, correspondiente a procesos astrofísicos muy variados, el cual se halla demasiado lejos de aquellas alternativas con las que puede compararse. La singularidad del caso repercute en la sofisticación de poder simularlo. Dada la escasez de datos observacionales disponibles resulta difícil generar simulaciones viables que arrojen resultados confiables, y no elucubraciones teóricas, que puedan ser contrastados a medida que las mismas iteran. En definitiva, el estatus epistémico de los datos simulados logrados dependerá de las prácticas de parametrización asociadas a las estrategias de validación externa existentes. A continuación, se analizarán algunas.

IV. Parametrizaciones y validaciones

Cuando faltan datos de observación para validar una teoría o una suposición, la astronomía tiene varias técnicas disponibles. Una de estas últimas es el uso de simulaciones por computadora. Los investigadores utilizan simulaciones (Heng, 2014) con la esperanza de crear un “panorama general” de los fenómenos astronómicos, aparentemente no relacionados. Desde principios de siglo, existe una tendencia en crear grandes simulaciones para emular o recrear todo el universo en una sola. Una de las primeras simulaciones masivas creadas es el proyecto *Milenium* o también conocido como *Illustris* a principios de los años dos mil. A partir de ahí aparecieron otros como *EAGLE*, *BlueTides* o *MassiveBlack II*, sólo por citar algunos. Varios de estos proyectos fracasaron estrepitosamente, mientras que otros se tornaron laboratorios astronómicos robustos. Uno de los fracasos más notables fue reportado por un grupo de científicos hace una década (Scannapieco et al. 2012). En este experimento, se pidió a varios investigadores que simularan una galaxia utilizando el código que habían desarrollado. Los resultados no fueron todos iguales, no coincidieron ni con las expectativas teóricas, ni con las restricciones observacionales. El experimento frustró, en parte, la disponibilidad de una herramienta que se consideraba esencial para la validación externa de simulaciones en astronomía. A pesar de estos contratiempos, y gracias a una mejor comprensión de las supernovas y de los agujeros negros, el rendimiento de este tipo de simulaciones ha mejorado considerablemente en los últimos años.

En la actualidad, el empleo de modelos específicos jerárquicamente relacionados entre sí, es una estrategia común para el diseño de simulaciones computacionales en esta ciencia natural. Según Heng, esta táctica ampliamente utilizada en climatología, permite que varios modelos con diferentes niveles de complejidad proporcionen una comprensión (paso a paso) de los fenómenos involucrados y así poder aislar determinados efectos físicos. Afortunadamente, en la actualidad, no es necesario emplear demasiados parámetros libres. Así, se eliminan los riesgos de datos de entrada incorrectos. En este sentido, puede diseñarse un código que exprese y represente adecuadamente los objetos, sus propiedades o cualidades físicas. Los parámetros libres son empleados dentro de una simulación al intentar reproducir fenómenos complejos que interactúan de alguna u otra manera. En algunos casos, un simulador puede creer que el paráme-

tro libre considerado expresa, adecuadamente, un dato de entrada. Ello se debe a que el mismo ha sido validado, según el comportamiento esperado, en otras simulaciones. El uso de este tipo de parámetros es tan común, y necesario, ya que sin ellos no podrían llevarse a cabo simulaciones básicas. Sin embargo, a lo largo de la reciente historia, astrónomos destacados han hecho un mal uso de ellos para dar respuestas a algunos fenómenos desconocidos. Un breve ejemplo lo dan Namouni y Morais (2018, 2020), quienes intentan explicar el origen interestelar de los objetos (514107) 2015 BZ509, 2008 KV42 y (471325) 2011 KT19, que se encuentran en órbita retrógrada alrededor de Júpiter. Para ello simularon, mediante la reproducción de sus trayectorias potenciales, retrocediendo en el tiempo hasta 4,5 Ga (giga-años). Descubrieron que, en el mejor de los casos, un poco menos de veinte por ciento de dichas trayectorias coincidían con algunas concordantes con la de un objeto interestelar que haya quedado atrapado en el sistema solar. La simulación resulta absurda, ya que supone que no han cambiado las condiciones de dicho sistema, sin perturbaciones o alteraciones, durante ese lapso de tiempo; incluso, sin certeza de cuándo ni cómo ocurrieron los eventuales cambios.

A menudo, se hace uso de códigos provenientes de otras simulaciones. En ciertas ocasiones dichos códigos se consideran válidos por el solo hecho de que los resultados fueron publicados en revistas prestigiosas. Roundtree (2010) notó que en algunas investigaciones puntuales había comentarios sobre el empleo de estos códigos, haciendo referencia directa a los artículos, ampliamente citados, los cuales se relacionaban con la simulación original. Es importante aclarar que, si el código es incluido en una nueva simulación, no se cuestiona su validez salvo que produzca conflictos. Sin embargo, pueden surgir otros inconvenientes, aún si la inclusión de códigos de simulaciones ajenas no resulte conflictiva. Varios problemas emergen y se vuelven más evidentes cuando la simulación es sofisticada, o bien, si depende de una gran cantidad de parámetros libres. El error se encuentra en pensar a la simulación como una “caja negra” que no puede “romperse”, ni alterarse. En otras palabras, al no saber cómo puede falsearse la simulación, aún si existiera alguna forma conocida, no necesariamente arrojaría los datos esperados. De esta manera, debe tenerse cierto cuidado con esta práctica, ya que al falsificar los datos no se posee certeza alguna si, efectivamente, la simulación es o no válida.

Oberkampff y Roy (2010, 481-483) dicen que si la simulación tiene algunos requisitos en términos de un tipo de precisión (exactitud), entonces siempre podemos falsificarla agregando suficientes datos para hacerlo. Aunque Oberkampff y Roy se refieren a demostraciones basadas en hipótesis estadísticas, se puede extenderlas a tipos de error lógico. Hay dos tipos: por un lado, el riesgo del constructor del modelo y, por el otro, el riesgo del usuario del modelo. El riesgo del constructor, que puede surgir tanto desde el punto de vista computacional como experimental, es el error de rechazar la validez del modelo cuando éste es válido. El riesgo del usuario, en cambio, es la aceptación de la validez del modelo cuando éste no es válido. Este último riesgo es el más peligroso de los dos tipos. Por ejemplo, si tenemos un error numérico causado por no ser lo suficientemente preciso en la colocación de una “malla”, y si los resultados computacionales coinciden con los resultados experimentales, entonces la comparación es engañosa. Se tiende a compensar o anular los errores de comparación. Para Oberkampff y Roy estas compensaciones son habituales. Si hay suficiente evidencia experimental para validar el modelo, hay poco interés en cuestionar su validez.

En la última década, con el auge de la inteligencia artificial, cada vez más investigadores intentan utilizar el aprendizaje automático en sus simulaciones. Estas técnicas pueden ayudar a encontrar nuevos patrones en la simulación y facilitar la construcción de nuevos conjuntos de datos que no podían obtenerse debido a cuestiones de limitaciones computacionales. Lovell et al. (2022), emplearon exitosamente esta estrategia al entrenar un modelo astrofísico particular, implementando una simulación de gran resolución, la cual no hubiera sido posible sin un entrenamiento periódico. Estos autores tuvieron el cuidado suficiente de abordar el error de generalización, que consiste en hacer predicciones incorrectas cuando al aprendizaje automático se le presentan datos nuevos que no se esperaban dentro de los datos de entrenamiento originales. Su solución fue incluir grupos del proyecto *C-EAGLE* en el conjunto de entrenamiento, lo que permitió utilizar el modelo en volúmenes de simulación cada vez más grandes. Según ellos, el aprendizaje automático utilizado de esta manera no puede considerarse una “caja negra”, ya que ofrece “conocimientos” por su modelo predictivo y también puede brindar los valores de las ponderaciones otorgadas a partir de sus parámetros de entrada. Según estos autores, este caso permite la oportunidad de “aprender de manera imparcial” cuáles

son los parámetros que mejor podrían explicar un fenómeno determinado. Esta es una forma poco ortodoxa de interpretar el aprendizaje maquínico, donde la atención se centra en los parámetros de entrada en lugar del proceso de intentar crear o recrear los fenómenos. A pesar de darle una lectura caritativa, el riesgo de usuario aportado por Oberkampff y Roy se encuentra presente. En síntesis, no podemos estar seguros de que no tengamos errores numéricos que concuerden con los datos de *C-EAGLE* y hayamos entrenado el aprendizaje automático para que concuerde con las entradas incorrectas. Cabe destacar que *The MillenniumTNG Project*, que se encuentra actualmente en desarrollo, intenta resolver algunos problemas de validación que fueron mencionados anteriormente; en particular, la relación entre distintas simulaciones y sus códigos. Uno de los objetivos de este proyecto es combinar las simulaciones hidrodinámicas con aquéllas que consideren sólo materia oscura (*Dark matter-only*), mediante el uso de modelos semianalíticos. Aunque estas investigaciones resuelven potencialmente algunos de los problemas de validación planteados, los riesgos del usuario y del constructor del modelo pueden estar todavía presentes.

V. Conclusiones

Al considerar los diferentes roles epistémicos de las simulaciones, podemos concluir que el tipo de conocimiento válido producido, a través de estas prácticas astronómicas, requiere algún vínculo con las observaciones tradicionales. Así, los contextos en los que ocurrirían dependen del tipo de simulación utilizada. En particular, los resultados de las simulaciones de observaciones están condicionados por un modelo de observación específico. Las parametrizaciones subyacentes restringen el espacio de posibles soluciones y las inferencias ampliativas se correlacionan con los datos observacionales. Al reinterpretar estos últimos, la reproducción permite una comprensión más profunda del fenómeno estudiado.

En el caso de las simulaciones *per se*, tanto la prueba de hipótesis como la exploración del espacio de posibilidades son técnicas que podrían, eventualmente, quedar fuera del alcance de las prácticas observacionales asociadas al ámbito de la simulación computacional. Curiosamente, el tipo de conocimiento astrofísico producido podría referirse a cierta clase de inferencias ampliativas, altamente especulativas, válidas sólo en un contexto de búsqueda teórica. Incluso, la ampliación de las observaciones po-

dría considerarse una habilidad de la imaginación más que una capacidad epistémica. El riesgo de emplear este recurso es elevado, ya que depende de la verosimilitud de los supuestos como de la selección y el ajuste de parámetros con un alto grado de libertad, permitiendo diferentes flujos de soluciones probables. De esta manera, los resultados de las simulaciones pueden ser verificables pero no validados, es decir, correctos pero no comprobables empíricamente.

Referencias:

- Arp, H. (1966). *Atlas of Peculiar Galaxies*. California: California Institute of Technology.
- Bozzoli, M.; Domínguez, M. (2023). “Aspectos epistemológicos sobre la validación de modelos computacionales en cosmología”. *Argumentos de Razón Técnica*. Vol. 26, pp. 249-273.
- Bozzoli, M.; Paz D. (2023). “Validación de observaciones y de simulaciones astrofísicas: un enfoque epistemológico”. *Revista Disertaciones*. Vol. 12, No. 1, pp. 43-68.
- Bozzoli, M. (2019). *El rol de los instrumentos y la simulación en la observación astronómica contemporánea: un enfoque epistemológico*. Córdoba: Facultad de Filosofía y Humanidades, Universidad Nacional de Córdoba.
- 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.
- Dottori, H. et al. (2021). “The Population of H II Regions in NGC 7020”. *The Astronomical Journal*. Vol. 161, No. 4.

- Guillemot, H. (2010). "Connections between simulations and observation in climate computer modeling. Scientist's practices and "bottom-up epistemology" lessons". *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*. Vol. 41, pp. 242-252.
- Hacking, I. (1989). "Extragalactic Reality: The Case of Gravitational Lensing". *Philosophy of Science*. Vol. 56, No. 4, pp. 555-581.
- Hacking, I. (1983). *Representar e Intervenir*. Mexico: Paidós.
- Heng, K. (2014). "The Nature of Scientific Proof in the Age of Simulations". *American Scientist*. Vol. 102(3), pp. 174-177.
- Humphreys, P. (2004). *Extending Ourselves: Computational Science, Empiricism, and Scientific Method*. Oxford: Oxford University Press.
- Humphreys, P. (2013). "What are Data About", in *Computer Simulations and the Changing Face of Experimentation*, E. Arnold and J. Durán (eds). Cambridge: Cambridge Scholars Publishing.
- Jacquart, M. (2020) "Observations, Simulations, and Reasoning in Astrophysics". *Philosophy of Science*. Vol. 87, pp. 1209-1220.
- Kosso, P. (1988). *Observability and Observation in Physical Science (Synthese Library)*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Kosso, P. (2006). "Detecting Extrasolar Planets". *Studies in History and Philosophy of Science*. Vol. 37, pp. 224-236.
- Lovell, C. C. et al. (2022). "A machine learning approach to mapping barions on to dark matter haloes using the eagle and C-EAGLE simulations". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. Vol. 509(4), pp. 5046-5061.
- Namouni, F.; Morais, M. H. M. (2018). "An interstellar origin for Jupiter's retrograde co-orbital asteroid". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*. Vol. 477(1), pp. 117-121.



- Namouni, F., Morais, M. H. M. (2020). "An interstellar origin for high-inclination Centaurs". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. Vol. 494(2), pp. 2191-2199.
- Oberkampff, W.; Roy, C. (2010). *Verification and Validation in Scientific Computing*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Reiss, J. (2019). "Against external validity". *Synthese*. Vol. 196, No. 8, pp. 3103-3121.
- Roundtree, A. K. (2010). "The rhetoric of computer simulations in astrophysics: a case study". *JCOM*. Vol. 9(3).
- Sérsic, J. L. (1968). *Atlas de Galaxias Australes*. Córdoba: Observatorio Astronómico de Córdoba.
- 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*. Vol. 423(2), pp. 1726-1749.
- Shapere, D. (1982). "The Concept of Observation in Science and Philosophy". *Philosophy of Science*. Vol. 49, No. 4, pp. 485-525.
- Shapere, D. (1989). "El Concepto de Observación en Ciencia y en Filosofía". *Filosofía de la Ciencia: Teoría y Observación*. L. Olivé y A. R. Pérez Ransanz (trad. y eds.). México: Siglo XXI Editores – UNAM.
- Shapere, D. (1993). "Astronomy and Antirealism". *Philosophy of Science*. Vol. 60, I, pp. 134-150. Chicago: The University of Chicago Press.
- Vogelsberger, M. et al. (2020). "Cosmological Simulations of Galaxy Formation". *Nature Reviews Physics*. Vol. 2, pp. 42-66.

Vogelsberger, M. et al. (2014a). “Properties of galaxies reproduced by a hydrodynamic simulation”. *Nature*. Vol. 509(7499), pp. 177-182.

Wilson, K. (2017). “The case of the missing satellites”. *Synthese*. Vol. 198(21), pp. 1-21.





Equivalencia empírica y subdeterminación de los modelos astronómicos.

De Hiparco a Copérnico

Alejandro Cassini*

Resumen

Los astrónomos griegos, desde Hiparco a Tolomeo, supieron que el movimiento aparente del Sol, que no es uniforme, podía explicarse mediante dos hipótesis o modelos geoméricamente equivalentes: el que emplea un círculo excéntrico y el que emplea un epiciclo sobre un círculo deferente. Tolomeo, apelando al criterio de simplicidad, sostuvo que el modelo excéntrico era preferible porque postulaba un solo movimiento. Sin embargo, del hecho de que una hipótesis sea más simple que otra nada puede inferirse acerca de su verdad o verosimilitud. El mismo problema se reproduce en la astronomía copernicana. Como trato de mostrar, la elección entre hipótesis empíricamente equivalentes apelando al criterio de simplicidad, cuando es posible, resulta difícilmente compatible con una concepción realista del objetivo de la astronomía o de cualquier ciencia.

Palabras clave: modelo solar, excéntricas, epiciclos, subdeterminación, simplicidad.

Abstract

Greek astronomers, from Hipparchus to Ptolemy, knew that the apparent motion of the Sun, which is not uniform, could be explained by two geometrically equivalent hypotheses or models: the one that uses an eccentric circle and the one that uses an epicycle on a deferent circle. Ptolemy, appealing to the criterion of simplicity, maintained that the eccentric model was preferable because it postulated a single movement. However, from the fact that one hypothesis is simpler than another, nothing can

* Conicet-Universidad de Buenos Aires

be inferred about its truth or truthlikeness. The same problem is reproduced in Copernican astronomy. As I try to show, the choice between empirically equivalent hypotheses appealing to the criterion of simplicity, when possible, is hardly compatible with a realist conception of the aim of astronomy or any science.

Keywords: Solar model, eccentrics, epicycles, underdetermination, simplicity.

I. Introducción

El dogma fundamental de la astronomía griega (según se cree, originado en la academia platónica hacia comienzos del siglo IV AC) es que los movimientos de los astros son circulares y uniformes. Probablemente, se originó a partir de la observación del movimiento de las estrellas circumpolares, que recorren regularmente 15 grados por hora en el cielo y cuya trayectoria circular es directamente observable. Otras estrellas fijas (llamadas así porque no cambian sus distancias relativas cuando se mueven en el cielo) también podían observarse salir y ponerse sobre el horizonte recorriendo el cielo a la misma velocidad angular, aunque su trayectoria circular solo podía determinarse parcialmente. Ese movimiento ordenado de las estrellas fue registrado ya por los astrónomos egipcios y babilonios. Se transmitió a los griegos de la Antigüedad bajo la forma de tablas de posiciones.¹ En esas tablas no se advertían cambios en el movimiento regular de las estrellas fijas a lo largo de siglos.

Había, sin embargo, algunas pocas excepciones perturbadoras. Los planetas (literalmente “vagabundos”) o estrellas errantes acompañaban el movimiento diario de las estrellas fijas de este a oeste, pero mostraban cambios significativos en su movimiento anual de oeste a este a través de las constelaciones del Zodíaco. Los planetas, a diferencia de las estrellas fijas, no se movían con movimiento circular uniforme, algo que también podía comprobarse por observación directa. La Luna, ante todo, presentaba movimientos muy rápidos y complicados, tanto en latitud como en longitud. El Sol, por su parte, parecía moverse con distintas velocidades en diferentes momentos del año. Los restantes cinco planetas (Mercurio,

¹ En *De caelo* (II 12, 292a7-10), Aristóteles reconoció explícitamente el conocimiento astronómico heredado de los egipcios y babilonios.

Venus, Marte, Júpiter y Saturno), observados desde tiempos remotos, tenían los movimientos más anómalos ya que avanzaban y retrogradaban respecto de las estrellas fijas y, durante su retrogradación, se movían con velocidades muy variables. Además, se veían más brillantes durante su retrogradación, lo que sugería que en ese momento estaban más cerca de la Tierra.

El movimiento observable de los planetas, en suma, no era circular ni uniforme. A muchos filósofos ese hecho les resultaba inaceptable porque parecía una irrupción del caos en el cosmos, ya que era el único, entre los movimientos de los astros conocidos que, aparentemente, no obedecía la ley del movimiento circular uniforme. La retrogradación de los cinco planetas parecía, además, el más irracional de todos los movimientos, ya que, como se podía comprobar por simple observación, cada planeta tenía un período diferente de retrogradación y no parecía haber ninguna relación matemática entre los períodos de los diferentes planetas.² Para complicar más las cosas, los ángulos de retrogradación de un mismo planeta variaban en amplitud máxima entre una retrogradación y otra. El desafío para los astrónomos antiguos consistía en “salvar las apariencias” (una expresión atribuida a Platón), esto es, probar que las aparentes irregularidades de los movimientos planetarios eran el producto de la combinación de movimientos circulares uniformes. Los astrónomos griegos llamaron *anomalías* a estos movimientos irregulares de los planetas. La tarea de los astrónomos era, entonces, la de solucionar estas anomalías y así restaurar el orden del cosmos, orden de cuya existencia no dudaban.

En el curso de los siglos que van desde el IV a.C. al II d.C., los astrónomos griegos inventaron diferentes modelos geométricos que combinaban varios movimientos circulares uniformes con el fin de resolver las anomalías de los movimientos planetarios. Descubrieron, sin embargo, que una misma anomalía podía explicarse mediante dos modelos diferentes entre los cuales la observación no podía discriminar. Se trataba de modelos geoméricamente equivalentes que, en consecuencia, permitían dar cuenta de las mismas apariencias. En la terminología actual, diríamos que estaban subdeterminados por toda posible evidencia astronómica, por lo

2 Los períodos de retrogradación, medidos en días, son los siguientes: Mercurio 116, Venus 584, Marte 780, Júpiter 399, Saturno 378. A primera vista, estos valores no parecen expresar ninguna regularidad.

que la elección de uno u otro no podía depender de criterios fácticos. Si suponemos que el objetivo de la astronomía es proporcionar una descripción verdadera de la estructura y el comportamiento del cosmos, la existencia de modelos o hipótesis empíricamente equivalentes plantea una dificultad aparentemente insoluble. ¿Cómo podríamos saber cuál de esos modelos o hipótesis proporciona la descripción verdadera de la realidad si ambos resultan compatibles con cualquier observación posible?

Los astrónomos griegos encontraron este problema ya en el siglo II a.C., cuando Hiparco de Nicea advirtió que el movimiento aparente del Sol alrededor de la Tierra podía explicarse mediante dos modelos diferentes. Desde entonces, la cuestión de la equivalencia empírica de los modelos planetarios, y sus consecuencias para el conocimiento astronómico, fue debatida por astrónomos y filósofos hasta los tiempos de Copérnico (y más allá incluso). La historia es demasiado extensa y complicada como para relatarla en este trabajo. Me ocuparé solamente de los dos modelos del movimiento del Sol y de la manera como los astrónomos griegos (y más tarde Copérnico) enfrentaron el problema de elegir uno de ellos, considerado como supuesta descripción verosímil del movimiento real del Sol. Finalmente, ofreceré algunas reflexiones epistemológicas acerca de los criterios que permitirían elegir entre teorías, hipótesis o modelos empíricamente equivalentes.

II. El realismo de la astronomía antigua

En términos generales, la actitud realista frente a las hipótesis y teorías científicas consiste en suponer que se proponen obtener una descripción literalmente verdadera del dominio de entidades del que se ocupan. Esto implica admitir que, si una teoría es verdadera, las entidades y propiedades que en ella se postulan deben existir realmente, aunque se trate de entidades y propiedades inobservables, es decir, inaccesibles a la percepción humana, como los átomos y la fuerza de gravedad. En el caso de la astronomía, esta actitud entraña que el objetivo de esta ciencia (en la Antigüedad considerada una rama de la matemática, una suerte de geometría aplicada) es proporcionar una descripción de los movimientos de los cuerpos celestes observables a simple vista (las estrellas fijas y móviles) de manera que puedan conocerse cómo se mueven realmente los astros, cuáles son sus movimientos naturales. Más específicamente, la actitud realista im-

plica asumir que los modelos geométricos creados por los astrónomos no tienen meramente una finalidad predictiva sino que intentan ofrecer una representación verosímil de la estructura cosmos, por lo que deben interpretarse como literalmente descriptivos del mundo real y no como instrumentos o ficciones útiles. Por consiguiente, los términos teóricos de las hipótesis astronómicas, como epiciclos, deferentes, excéntricas y puntos ecuantes deben entenderse como referenciales.

La interpretación antirrealista de la astronomía griega, basada en los debates antiguos sobre la realidad de los epiciclos y excéntricas fue popular a principios del siglo XX, sobre todo a partir de la obra de Duhem (2008), que interpretó la tradición de “salvar las apariencias” en términos instrumentalistas. Esta interpretación ha sido desestimada hace tiempo por la gran mayoría de los historiadores de la ciencia. Como a señalado Evans (1998 y 2008) los modelos planetarios de Ptolomeo, y los de toda la tradición griega desde Eudoxo, estaban fundados en supuestos cosmológicos y físicos acerca de la naturaleza del universo, supuestos que, en lo esencial, provenían de la filosofía aristotélica, cuya orientación realista es evidente. La finitud y esfericidad del cosmos y de los astros, la circularidad de sus movimientos reales y la inexistencia del vacío son los ejemplos más importantes de hipótesis físicas que provienen del *De caelo* aristotélico y se mantienen en toda la tradición astronómica al menos hasta fines de la Edad Media.

Algunos historiadores de la astronomía, como Dreyer (1906) interpretaron los modelos astronómicos de Ptolomeo de manera instrumentalista, pero esta interpretación no es sostenible a la luz de *Las hipótesis de los planetas*, sobre todo, después de la publicación en 1967 de la versión árabe de la segunda parte del libro primero de esta obra. Allí Ptolomeo intenta calcular las distancias absolutas de todos los planetas respecto de la Tierra a partir de los respectivos modelos planetarios a los cuales añade una interpretación física. El modelo físico es el de mecanismos anidados en los que no hay vacío entre uno y otro, ordenados según sus respectivas distancias a la Tierra, distancias calculadas a partir de los modelos geométricos de epiciclo y deferente. Los mecanismos para cada planeta se componen de esferas materiales sólidas. En términos de Evans (1998, 218), “cuando Ptolomeo trató de calcular el tamaño de todo el cosmos [...], anidando los mecanismos de los diversos planetas uno dentro de otro, ciertamente tomó los modelos planetarios como físicamente reales”. Ya en

el *Almagesto*, Tolomeo había calculado las distancias absolutas de la Luna (V, 11-13) y el Sol (V, 14) respecto de la Tierra. Todo ello muestra que Tolomeo, al igual que Hiparco y Apolonio antes que él, estaba interesado en describir la estructura del cosmos, ya que las distancias absolutas entre los planetas resultan irrelevantes desde el punto de vista instrumental, esto es, para predecir las posiciones planetarias. La conclusión de Evans (2008, p. 122), parece, entonces, completamente razonable: “Ptolomeo, como Hiparco antes que él, quería una teoría que no solo predijera exactamente las posiciones de los planetas, sino que *también proporcionara una imagen verdadera del cosmos*” (subrayado por el autor). Sobre la base de esa posición realista debe entenderse el extenso debate histórico acerca de la realidad de los epiciclos, deferentes y excéntricas, así como la perplejidad producida por la equivalencia empírica de los modelos epicíclico y excéntrico del Sol.

III. La anomalía solar

Las principales regularidades del movimiento del Sol fueron descubiertas por los astrónomos babilonios. Además de su movimiento diario de este a oeste, que comparte con todas las estrellas fijas y errantes, el Sol tiene un movimiento anual a través de las estrellas fijas. Ese movimiento es en el sentido inverso al de su movimiento diario, es decir, va de oeste a este. La observación muestra que el Sol recorre una distancia angular de un grado (aproximadamente) por día respecto de las estrellas fijas. Los astrónomos antiguos determinaron que el Sol tarda 365 días, 6 horas y 9 minutos en dar una vuelta completa a la esfera celestial. Ese tiempo se llama el *año sidéreo*. Después de un año, el Sol vuelve a alinearse exactamente con una estrella determinada, o constelación, que se tome como punto de referencia.

Los astrónomos del siglo IV a.C. advirtieron una irregularidad importante en el movimiento del Sol a través del Zodíaco: su velocidad no es uniforme y, por ello, no recorre ángulos iguales en tiempos iguales. El Sol se movía más rápido durante los meses del invierno y más lentamente durante los meses del verano. Como consecuencia de ello, las estaciones no tienen la misma duración; de hecho hay una diferencia de casi seis días entre la estación más larga y la más corta. Se atribuye a Calippo Cícico, hacia el 330 a.C. la primera medición de la desigualdad de las estaciones,

aunque, cualitativamente, esa desigualdad ya era conocida mucho antes.³ Dos siglos después, hacia 130 A.C., Hiparco proporcionó los valores más precisos que conoció el mundo antiguo (90 días y $\frac{1}{8}$ para el invierno, $94 \frac{1}{2}$ para la primavera, $92 \frac{1}{2}$ para el verano y $88 \frac{1}{8}$ para el otoño).⁴ Este movimiento no uniforme recibió el nombre de *primera anomalía*. El Sol, entonces, tiene un movimiento diario que es circular y uniforme y un movimiento anual que es circular pero no uniforme. En verdad, el movimiento del Sol en el cielo es complicado, una suerte de helicoides, pero, desde la Antigüedad se lo ha descompuesto en dos movimientos simples: el diario y el anual. El movimiento observable del Sol en el cielo es la composición de estos dos movimientos simples.

Los astrónomos griegos inventaron dos modelos que salvaban las apariencias del Sol, es decir, que permitían acomodar su trayectoria en el cielo empleando órbitas circulares y movimiento uniforme respecto del centro de los círculos: el *modelo excéntrico* y el *modelo epicíclico*. En los dos modelos, la Tierra se encuentra fija en el centro del universo, centro determinado por la esfera de las estrellas fijas, que señala los límites de un universo necesariamente finito. En ambos modelos el Sol se mueve alrededor de la Tierra, ya sea con uno o dos movimientos circulares uniformes. Se atribuye a Apolonio de Pérgamo la invención de los instrumentos conceptuales que se emplean en los dos modelos, los *círculos excéntricos* y el sistema *epiciclo-deferente* de dos círculos. Por su parte, se atribuye a Hiparco de Nicea la creación de los dos modelos solares (en la terminología tradicional llamados *hipótesis*).⁵

3 Como señala Neugebauer (1975, I, p. 56), no sabemos quién descubrió la anomalía solar, que ya fue conocida por los astrónomos babilonios en el siglo V a.C.

4 Estos no son los valores actuales, ya que la duración de las estaciones ha cambiado. De hecho, cambia continuamente cada año. Por otra parte, representan la duración de las estaciones en el hemisferio norte, el único conocido por los astrónomos antiguos y medievales.

5 Aquí los llamaré indistintamente modelos o hipótesis, como he venido haciendo desde el comienzo (y como lo hacen Evans (1998) y otros historiadores y filósofos de la ciencia, que a veces los llaman también teorías).

IV. El modelo excéntrico

Aunque no se lo aclarara, en los comienzos de la astronomía griega se presuponía que cada astro tenía un solo movimiento, es decir, se movía a lo largo de un solo círculo, y que ese movimiento era uniforme respecto del centro del círculo, que coincidía con el centro de la Tierra. El movimiento diario de la esfera de las estrellas fijas constituía el mejor ejemplo de ello. Desde los tiempos de Eudoxo de Cnido, sin embargo, los astrónomos descubrieron que era imposible salvar las apariencias, esto es, acomodar los movimientos planetarios observados, mediante un único círculo centrado en la Tierra. Aceptaron, entonces, que era posible combinar dos o más movimientos circulares para cada astro, con tal de que todos fueran concéntricos entre sí y, por tanto, también respecto del centro de la Tierra. Esto originó el llamado modelo de las *esferas homocéntricas*, atribuido a Eudoxo y adoptado luego por Aristóteles, quien no lo consideró un puro modelo geométrico, sino que le adjudicó realidad física: cada círculo correspondía a la superficie de una esfera hueca hecha de éter, y las diferentes esferas centradas en la Tierra estaban anidadas de manera que no quedara vacío alguno entre ellas.

El modelo de las esferas homocéntricas funcionó, al menos de manera cualitativa, para acomodar los movimientos retrógrados de los cinco planetas. No obstante, no podía dar cuenta de la anomalía solar. En efecto, si el Sol se movía a lo largo de un solo círculo centrado en la Tierra (y, desde el punto de vista físico, era arrastrado por una esfera etérea), entonces, su movimiento circular no podía ser uniforme, ya que la observación mostraba que su velocidad angular cambiaba en el curso del año. Si se quería mantener el dogma del movimiento circular uniforme solo quedaban dos posibilidades: o bien agregar al Sol otros movimientos circulares, o bien aceptar que la trayectoria del Sol no estaba centrada en la Tierra.

El modelo excéntrico, cuya invención se atribuye a Hiparco, hacia mediados del siglo II a.C., y fue adoptado por Tolomeo, aproximadamente 300 años después, es decir, a mediados del siglo II d.C. Consta de un solo círculo excéntrico respecto del centro de la Tierra, a lo largo del cual el Sol se mueve con movimiento uniforme. Ese movimiento, sin embargo, no es uniforme respecto de la Tierra, que ocupa una posición excéntrica, sino respecto del centro del círculo. Indudablemente, ello implica una modificación de la idea original acerca de los movimientos de los astros,

que se suponían uniformes respecto del centro de la Tierra (y, por tanto, también del centro del universo). En el modelo excéntrico, el Sol se mueve alrededor de un punto que no está ocupado por ningún astro, aunque tampoco está vacío, ya que todo el espacio se supone lleno de un éter continuo. Así, puede decirse que el Sol orbita un punto material etéreo, que se encuentra fuera de la esfera terrestre.

En la siguiente figura (tomada de Evans 1998, p. 211) se muestran los detalles del modelo.

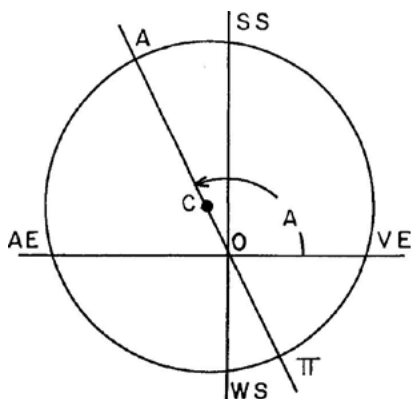


Figura 1.

El centro de la órbita del Sol es el punto C , mientras que la Tierra se encuentra en la posición excéntrica O . El punto A es el *apogeo*, el punto donde el Sol se encuentra más alejado de la Tierra, mientras que el punto Π es el *perigeo*, el punto donde el Sol se encuentra más cerca de la Tierra. La línea que une A y Π es la línea del *ápside*. Los puntos SS y WS indican el solsticio de verano y de invierno, respectivamente, mientras que los puntos AE y VE indican los equinoccios de otoño y de primavera. El ángulo A es la longitud del apogeo y el segmento OC es la excentricidad de la órbita del Sol.

El modelo solar excéntrico de Hiparco tiene dos *parámetros libres*:

1. La excentricidad de la órbita, fijada en $1/24$ del diámetro del círculo.

2. La inclinación de la línea del ápside (la que une el apogeo con el perigeo de Sol), fijada en un ángulo de 65,5 grados respecto de la línea que une los dos equinoccios.

Estos parámetros *no son empíricos*, esto es, su valor no se puede determinar mediante observaciones o mediciones de distancias. El valor de estos parámetros se puede fijar a voluntad con el fin de acomodar la trayectoria del Sol en el cielo y, además, puede reajustarse tantas veces como sea necesario para conseguir una mejor concordancia entre las predicciones del modelo teórico y las observaciones. Los astrónomos griegos (o medievales) no tenían manera de medir la distancia *OC*, que determina la excentricidad de la órbita del Sol. Simplemente, fijaban el valor de esa excentricidad para que se ajustara a las observaciones del movimiento aparente del Sol a lo largo del año. De hecho, la trayectoria del Sol a través del Zodíaco era el único observable, en sentido estricto, de la astronomía antigua. Observaciones más precisas podrían llevar a reajustar el valor de los parámetros libres del modelo, por ejemplo, fijando la excentricidad de la órbita del Sol en, digamos, 10/241 del diámetro de su órbita circular, en vez de 1/24.

El modelo de Hiparco pervivió por siglos, con ocasionales ajustes menores al valor de sus parámetros libres porque era predictivamente exitoso. James Evans lo ha evaluado en los siguientes términos:

“De hecho, el modelo de Hiparco es muy bueno. Con parámetros exactamente determinados la teoría es capaz de predecir la posición del Sol con un error menor que 1 minuto, un error bien por debajo de la precisión de las mejores observaciones a ojo desnudo. La antigua teoría solar, sin embargo, no alcanzó toda su exactitud potencial a causa de los inevitables errores en la observación de los equinoccios y solsticios, de los cuales los parámetros fueron derivados”. (Evans 1998, p. 216)

El modelo excéntrico tenía, ciertamente, otras virtudes epistémicas, además de la adecuación empírica. Por ejemplo, era particularmente simple porque empleaba un solo círculo, pero su mayor virtud fue su éxito predictivo, que es la que explica su larga vigencia. No obstante, implicaba ya una desviación de la idea original del movimiento circular uniforme, ya

que el centro de la órbita del Sol no es el centro de la Tierra ni el de ningún otro astro, sino un punto etéreo.

V. El modelo epicíclico

Un modelo diferente del movimiento del Sol se obtiene combinando dos círculos y, consiguientemente, dos movimientos uniformes. Es el llamado modelo del epiciclo-deferente o, de manera más breve, el *modelo epicíclico*. La tradición también atribuye la invención de este modelo a Hiparco, aunque esto no podemos saberlo con certeza porque las obras de Hiparco sobre este tema se han perdido y solo las conocemos por testimonios que son muy posteriores, principalmente el de Tolomeo (que hizo un uso extensivo de dichas obras).

La siguiente figura (tomada de Evans 1998, p. 212) muestra el modelo epicíclico para la órbita del Sol:

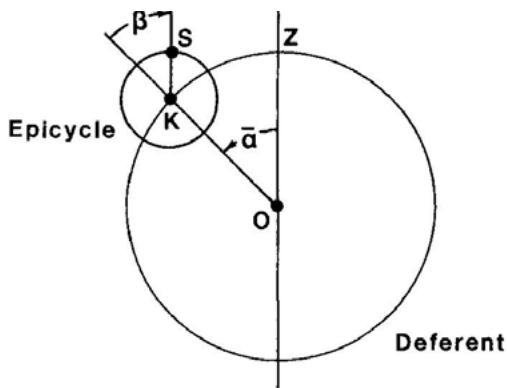


Figura 2

El Sol se encuentra en el punto S , que se mueve con velocidad constante a lo largo del círculo menor (el epiciclo) centrado en el punto K , que no está ocupado por ningún cuerpo. A su vez, el punto K se mueve con velocidad constante a lo largo del círculo mayor (el deferente) que está centrado en el punto O , ocupado por la Tierra. Los dos movimientos tienen el mismo sentido (el contrario a las agujas del reloj) y se completan en un año, por lo que los ángulos α y β permanecen siempre iguales. El

modelo se conoce también como modelo del epiciclo y el deferente *con-
céntricos*, ya que no contiene círculos excéntricos. Tanto el movimiento
del epiciclo como el del deferente son uniformes respecto del centro de
cada círculo. La diferencia es que el centro del deferente está ocupado por
la Tierra (más precisamente, por el centro de la Tierra), mientras que el
centro del epiciclo es un punto “vacío”, esto es, no ocupado por ningún
astro, sino solo por el éter que se suponía que llenaba los espacios interes-
telares. El círculo deferente, además, es concéntrico respecto de la esfera
de las estrellas fijas, o del universo, como solía decirse en la Antigüedad.

El modelo solar epicíclico tiene seis parámetros libres:

1. El radio del círculo deferente.
2. El radio del epiciclo.
3. La rapidez de la rotación del deferente.
4. El sentido de la rotación del deferente.
5. La rapidez de la rotación del epiciclo.
6. El sentido de la rotación del epiciclo.

Los seis parámetros pueden reducirse a cuatro si la velocidad se en-
tiende como una magnitud vectorial. En ese caso, los parámetros 3 y 4 se
reducen a uno, la velocidad del deferente, mientras que los parámetros 5
y 6 también se reducen a uno, la velocidad del epiciclo. Con todo, en mi
opinión, conviene mantenerlos separados porque la distinción entre la
velocidad (un vector) y la rapidez (un escalar) no se encuentra claramente
especificada en la física antigua. El epiciclo y el deferente son entidades
teóricas, es decir, no observables. Los seis parámetros, por consiguiente,
no son empíricos. Sus valores también pueden fijarse y reajustarse para
conseguir la mejor adecuación empírica del modelo a la trayectoria obser-
vada del Sol en su recorrido anual por el Zodíaco.

VI. La equivalencia geométrica de los dos modelos

El modelo solar epicíclico resulta geoméricamente equivalente al modelo excéntrico, en el sentido preciso de que ambos permiten generar la misma órbita para el Sol, si se ajustan adecuadamente los valores de sus respectivos parámetros libres. En el capítulo 3 del libro III del *Almagesto*, Tolomeo demuestra la equivalencia de las dos hipótesis sobre el movimiento del Sol. No es necesario, para los fines de este trabajo, reproducir aquí la prueba de Tolomeo, quien atribuye a Apolonio la demostración de la equivalencia geométrica de las dos hipótesis.⁶ Se puede apreciar claramente que los dos modelos producen la misma trayectoria en la siguiente figura (tomada de Evans 1998, p. 213):

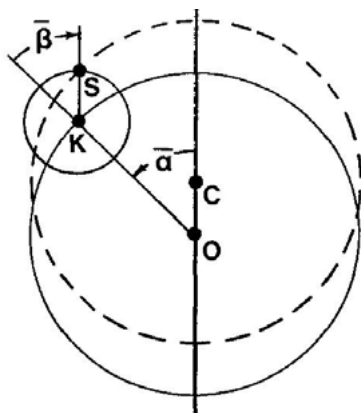


Figura 3

La órbita generada por los dos modelos se muestra en el círculo punteado, mientras que el deferente y el epiciclo se muestran en líneas sólidas. Los dos modelos producen la misma trayectoria si se cumplen las dos siguientes condiciones: a) el radio KS del epiciclo es igual a la excentricidad OC del círculo excéntrico, y b) las velocidades del epiciclo y el deferente se fijan de tal manera que los ángulos α y β siempre permanecen iguales. Esto

⁶ Una exposición detallada de esta prueba se encuentra en Pedersen (2010, capítulo 5). Pedersen, aparentemente, ignoraba que esa prueba ya la había ofrecido Teón de Esmirna.

puede hacerse a voluntad ya que tanto el radio del epiciclo, la excentricidad del círculo excéntrico y las velocidades del epiciclo y el deferente son, como ya se ha visto, parámetros libres en cada uno de los modelos. Por consiguiente, cualesquiera sean los valores de los parámetros del modelo excéntrico, siempre es posible construir un modelo epicíclico geométricamente equivalente a este, fijando *ad hoc* los parámetros libres del radio del epiciclo y las velocidades del epiciclo y el deferente. A la inversa, dado un modelo epicíclico, siempre es posible construir un modelo excéntrico equivalente fijando *ad hoc* el valor de la excentricidad de la órbita.

VII. El problema de la elección entre hipótesis equivalentes

La equivalencia geométrica de los modelos solares excéntrico y epicíclico implica que ambos también son (*a fortiori*) empíricamente equivalentes. Esto es, en términos más generales, toda trayectoria planetaria que pueda ser acomodada mediante uno de los modelos también puede ser acomodada mediante el otro y, además, toda predicción que pueda ser deducida de uno de ellos también puede deducirse del otro. Para un observador que se encuentra fijo a la superficie de la Tierra, como todo astrónomo hasta el siglo XX, no hay manera de discriminar cuál de las dos hipótesis describe verdaderamente los movimientos del Sol en el cielo. Lo único que el observador puede determinar mediante mediciones es la trayectoria aparente del Sol o, más generalmente, los movimientos aparentes de los planetas. Los epiciclos y las excéntricas son, en el lenguaje actual, entidades teóricas, es decir, son inobservables. Su existencia se postula para acomodar o salvar las apariencias, pero no puede ser verificada por ninguna observación.

La equivalencia geométrica entre los modelos excéntrico y epicíclico del movimiento del Sol seguramente ya fue conocida por Hiparco. Teón de Esmirna, que era una generación anterior a Tolomeo y murió hacia 135 d.C., es decir, antes de este escribiera el *Almagesto*, expuso con detalle ambas hipótesis y probó que eran equivalentes, o, en sus términos, que “cada una era una consecuencia de la otra” (*Expositio*, III, 34, p. 121). Señaló, además, que la prueba había sido realizada antes por su contemporáneo Adrasto de Alejandría, pero que Hiparco ya sabía que las apariencias del movimiento solar podían ser salvadas por ambas hipótesis (*Expositio*, III, 26, pp. 107-108).

Hiparco, según el testimonio de Teón, había preferido el modelo epicíclico porque mantiene el movimiento circular uniforme alrededor del centro del círculo deferente, ocupado por la Tierra (*Expositio*, III, 34, pp. 121-122). Tolomeo, por su parte, prefirió la hipótesis de la excéntrica, según sus propias palabras, “porque es más simple y se realiza por medio de un movimiento en vez de dos” (*Almagesto* III, 4, p. 153). Así pues, la simplicidad resulta un criterio de elección cuando hay en juego dos o más hipótesis que salvan igualmente bien las apariencias. Tolomeo lo afirma explícitamente en estos términos: “en general, consideramos un buen principio explicar los fenómenos por medio de la hipótesis más simple posible, en tanto no haya nada en las observaciones que proporcione una objeción a tal procedimiento” (*Almagesto* III, 1, p. 136).

Según Evans, tanto la elección de Hiparco como la de Ptolomeo se basaron en presupuestos físicos y cosmológicos, pero no en un criterio de simplicidad. Al respecto, sostuvo que ambas elecciones:

[...] “Reflejan la creencia de los astrónomos griegos en que sus modelos planetarios eran descripciones físicamente reales del universo, no meros dispositivos matemáticos para salvar los fenómenos. La elección de Hiparco estuvo claramente motivada por principios físicos o cosmológicos. Pero esto también es verdadero respecto de Ptolomeo, porque el círculo excéntrico no es matemáticamente más simple que el modelo de concéntrica más epiciclo”. (Evans 2008, p. 111)

El modelo excéntrico y el epicíclico, llamémoslos los *modelos simples*, se pueden combinar para formar un *modelo compuesto* que tiene a la vez epiciclo y excéntrica. La elección de valores para los parámetros libres, además, permite generar una infinitud de modelos empíricamente equivalentes. Consideremos el caso de la excentricidad de la órbita. Los modelos simples son equivalentes si la excentricidad de la órbita es igual al radio del epiciclo, esto es, si $Eo = Re$. Los modelos compuestos, por su parte, son geoméricamente equivalentes si se cumple la siguiente condición: $Eo' + Re' = Eo = Re$ (donde Eo' y Re' son, respectivamente, la excentricidad de la órbita y el radio del epiciclo del modelo compuesto. El modelo excéntrico se puede describir como un modelo compuesto de excéntrica y epiciclo, donde $Eo' = 1$ y $Re' = 0$. Conversamente, el modelo epicíclico se puede describir como $Eo' = 0$ y $Re' = 1$. Así, cualquier modelo compuesto donde se

cumpla que $Eo' + Re' = 1$ resulta geométricamente equivalente al modelo epicíclico simple y al excéntrico simple. Por ejemplo, $M_1 = (Eo' = 1/2, Re' = 1/2)$; $M_2 = (Eo' = 1/4, Re' = 3/4)$; etc. Todos estos modelos generan la misma trayectoria para cualquier planeta.

Empleando los métodos de la astronomía Ptolemaica, es posible construir modelos equivalentes para el movimiento de otros planetas, como Marte, Júpiter y Saturno. Por ejemplo, un modelo de epiciclo sobre excéntrica resulta equivalente a un modelo de excéntrica sobre excéntrica. También es posible adoptar círculos excéntricos fijos o móviles, con lo cual un modelo de epiciclo para los planetas superiores resulta equivalente a un modelo que tiene un círculo excéntrico móvil.⁷ Los recursos de la astronomía ptolemaica son suficientemente plásticos como para construir modelos geométricamente equivalentes para todos los planetas.

En principio, al menos, el criterio de simplicidad permitiría descartar los modelos compuestos en favor de los simples. Sin embargo, como es bien sabido, hay muchos sentidos diferentes en los cuales puede decirse que una teoría es más simple que otra, por ejemplo, puede ser más simple *matemáticamente* porque usa ecuaciones de menor complejidad (digamos, de segundo grado contra ecuaciones de cuarto grado); o bien puede ser más simple *ontológicamente*, porque postula, o presupone, menos tipos de entidades fundamentales; o bien puede ser más simple *nomológicamente*, porque introduce menos leyes fundamentales. Otro aspecto en que una hipótesis (teoría o modelo) puede ser más simple que otra es relativamente a su facilidad de uso o aplicación, que en muchos casos, se reduce simplemente a la conveniencia para el cálculo. En este respecto, no hay ninguna diferencia apreciable entre los modelos excéntrico y epicíclico del Sol. Cualquier cálculo de las posiciones del Sol empleando uno de los modelos puede hacerse de la misma manera empleando el otro. La simplicidad a la que se refiere Tolomeo no puede, entonces, ser puramente computacional. Con todo, no es claro en qué sentido el modelo excéntrico es más simple que el epicíclico. De acuerdo con Evans, se trata de la simplicidad de la física subyacente a cada modelo:

Un cálculo de las posiciones del Sol sería de similar complejidad en los dos modelos. En verdad, los cálculos serían virtualmente idénticos, línea por línea. Tolomeo claramente estaba pensando en la simplicidad física. Pre-

⁷ Véase la demostración de esta equivalencia en Pecker (2001), pp. 97-101.

firió el modelo excéntrico porque parecía físicamente más simple y, por consiguiente, era más probable que fuera verdadero. (Evans, 1998, p. 217)

En muchos casos, no es posible determinar cuál de dos modelos o teorías es el más simple, dado que no existe ninguna métrica, ni siquiera una escala comparativa, para la simplicidad. Aunque en algunos casos sea posible establecer la mayor simplicidad de un modelo, no se sigue de allí que dicho modelo sea verdadero, ni siquiera verosímil. Tampoco hay ninguna conexión evidente entre simplicidad y probabilidad. Así pues, del hecho de que el modelo excéntrico sea más simple que el epicíclico, en algún sentido de “simplicidad”, no es lícito concluir que dicho modelo proporciona una descripción verdadera, o siquiera verosímil del cosmos.

La equivalencia entre los modelos epicíclico y excéntrico del movimiento del Sol suscitó perplejidades entre los astrónomos y filósofos antiguos y medievales. Motivó una extensa discusión sobre la cuestión de si las excéntricas y epiciclos eran reales o no, y llevó a dudar acerca de si la astronomía era una auténtica ciencia capaz de alcanzar la verdad por detrás de las apariencias.⁸ La preocupación por la realidad de los epiciclos y excéntricas, tan frecuente en la escolástica de los siglos XIII y XIV, es un síntoma de una actitud realista hacia la ciencia en general. La equivalencia entre los modelos solares se discutió una y otra vez, tanto en la tradición árabe como latina, una discusión que sólo puede entenderse sobre la base de una posición realista ya que, de otro modo, la proliferación de modelos equivalentes no sería considerada como un problema. El verdadero problema era que estos modelos no podían considerarse más que como *hipótesis*, cuya verdad no podía conocerse, mientras que el auténtico conocimiento, como ya había argumentado Aristóteles en los *Analíticos*, no podía ser hipotético sino categórico. El conocimiento genuino es, por definición verdadero, mientras que la verdad de las hipótesis que meramente salvan las apariencias no puede conocerse.

El célebre prefacio anónimo de Osiander al *De revolutionibus* de Copérnico expresa claramente la actitud antirrealista acerca de la astronomía.

8 Este es un extenso proceso histórico que no puede tratarse aquí. Para un esquema general, véase Rosen (1984), capítulo 3, y las fuentes históricas allí citadas. Sobre las discusiones medievales acerca de las excéntricas y epiciclos, véase Grant (1994), capítulo 13.

Pues es propio de los astrónomos componer la historia de los movimientos celestes mediante una observación cuidadosa y diligente. Por tanto, deben concebir e inventar las causas o hipótesis de esos movimientos. Puesto que por ninguna razón pueden alcanzar las verdaderas causas, deben adoptar aquellos supuestos que permitan calcular correctamente esos movimientos a partir de los principios de la geometría, tanto para el futuro como para el pasado. [...] Y si algunas causas se imaginan, como muchas se imaginan, no se inventan para convencer a nadie, sino más bien para proporcionar un cálculo correcto. Sin embargo, como para uno y el mismo movimiento se ofrecen diferentes hipótesis (como la excentricidad y el epiciclo en el movimiento del Sol), el astrónomo debe elegir aquella que sea más fácil de comprender. El filósofo más bien exigirá la semejanza a la verdad, pero ninguno de ellos comprenderá o afirmará nada cierto, a menos que le sea divinamente revelado.” (*De revolutionibus*, pp. 403-404)

En este pasaje, tantas veces citado, Osiander se mostró como un continuador coherente de toda la tradición escolástica para la cual la astronomía no era una ciencia capaz de alcanzar una descripción verdadera de los cielos y, por consiguiente, debía limitarse a razonar *ex hypothesi* o *ex suppositione*, sin poder probar que sus hipótesis sean verdaderas. Para apoyar su posición, apeló, una vez más, a la equivalencia de los dos modelos del Sol, que tanto había consternado a toda la tradición astronómica.

El sistema copernicano, por su parte, no resolvió la dificultad. En efecto, para determinar la trayectoria aparente del Sol, la cuestión del movimiento o la inmovilidad de la Tierra resulta irrelevante: solo importa el movimiento relativo entre ambos astros. Así, el movimiento relativo del Sol respecto de la Tierra puede explicarse en el contexto de la astronomía copernicana mediante cualquiera de los dos modelos tolemaicos, sin que el hecho de que el Sol se considere fijo y la Tierra en movimiento introduzca ninguna consecuencia empíricamente relevante. Copérnico abordó esta cuestión en el capítulo 15 del libro tercero del *De revolutionibus*. Allí reconoció que la “irregularidad aparente del movimiento solar” se puede explicar igualmente bien mediante un modelo donde la órbita de la Tierra alrededor del Sol es excéntrica o mediante uno donde la Tierra se mueve en un epiciclo alrededor de un “círculo homocéntrico”. Luego de exponer el modelo excéntrico y el epicíclico, probó la equivalencia geométrica de ambos modelos empleando una figura prácticamente idéntica a la del *Almagesto* (*De revolutionibus* III, 3, p. 149). De allí concluyó, como Hiparco y

Tolomeo, que “[...] siempre se produce la misma irregularidad aparente, sea por el epiciclo en el homocéntrico, sea por el círculo excéntrico igual al homocéntrico, y que nada difieren entre sí, mientras la distancia entre los centros sea igual al radio del epiciclo” (*De revolutionibus* III, 15, p. 156). Finalmente, dejó el problema sin resolver, diciendo solamente que “no es fácil discernir cuál de ellos existe en el cielo” (*Utrum igitur eorum existat in caelo, non est facile discernere*) (*De revolutionibus* III, 15, p. 156).⁹

VIII. Conclusión

El problema de la equivalencia de los modelos excéntrico y epicíclico del movimiento del Sol fue conocido y discutido en toda la tradición astronómica antigua, medieval y moderna. Nunca fue resuelto porque no resultaba evidente cuál de los dos modelos era el más simple y en qué respecto. Como hemos visto, no tienen diferencias prácticas en relación con el cálculo matemático, por lo que resultan instrumentos igualmente útiles para predecir los movimientos del Sol. Muy frecuentemente, la dificultad de elegir uno de los dos modelos suscitó dudas acerca de la realidad de los epiciclos y excéntricas. Rosen (1984, p. 132) caracteriza la situación de la astronomía precopernicana diciendo que se encontraba en un “estado inestable” y que “no era solo la discrepancia entre la predicción y la observación lo que preocupaba a los astrónomos”, sino que “también estaban desconcertados por el estatus cosmológico u ontológico de las excéntricas y epiciclos”.

Para cualquier enfoque realista de la astronomía, o de cualquier ciencia, la subdeterminación permanente de los modelos o teorías empíricamente equivalentes constituye una seria dificultad. Difícilmente se la pueda superar apelando al criterio de simplicidad. Aun cuando pudiera determinarse que un modelo es más simple que otro, en algún respecto, nada se sigue acerca de la verosimilitud de dicho modelo. Mucho menos, acerca de su verdad, ya que nada podría garantizar que en el futuro no se invente un modelo más simple, y así sucesivamente. El criterio de simplicidad siempre ha sido reivindicado como medio para la elección de teorías por las posiciones antirrealistas, pero no es fácilmente conciliable con una

⁹ Swerdlow y Neugebauer (1984), p. 150, señalan que Copérnico prefirió el modelo excéntrico, pero solo a los fines del cálculo, es decir, por razones puramente prácticas.

actitud realista. Sin duda, tiene valor heurístico, pero su valor epistémico y su alcance ontológico son sumamente dudosos. Solo apelando a supuestos de carácter metafísico, como la idea de que “la naturaleza no hace nada en vano” (una idea genuinamente aristotélica) es posible extraer de este criterio conclusiones sobre el mundo realo la verosimilitud de las teorías que pretenden describirlo. ¿Pero cómo podríamos saber que la naturaleza no hace nada en vano?¹⁰

Referencias

- Aristóteles (1965). *De caelo*. Edición y traducción de P. Moraux. Paris: Les Belles Lettres.
- Copérnico, N. (1543). *De revolutionibus orbium coelestium*. Translated and Commented by E. Rosen: *Nicholas Copernicus on the Revolutions*. London: The Macmillan Press.
- Dreyer, J. L. (1906) *History of the Planetary Systems from Thales to Kepler*. Cambridge:Cambridge University Press.
- Duhem, P. (1908). *Sauver les apparences. Sur la notion de théorie physique de Platon à Galilée*. Paris: Hermann.
- Evans, J. (1998). *The History and Practice of Ancient Astronomy*. Oxford: Oxford University Press.
- Evans, J. (2008). “Ptolemy”. In Hetherington, N. (ed.) *Cosmology: Historical, Literary, Religious, and Scientific Perspectives* (pp. 105-145). London: Routledge.

10 Ni siquiera está claro el sentido preciso de esta expresión. Para una historia general de las diferentes maneras de entender la simplicidad véase Sober (2015). Una interpretación realista del criterio de simplicidad se encuentra en Schindler (2018). La cuestión de si la simplicidad es un criterio puramente pragmático, como sostienen todos los antirrealistas, o si tiene carácter epistémico, como sostiene Schindler, y algunos realistas, está fuera del alcance de este trabajo.

- Goldstein, B. (1967). "The Arabic Version of Ptolemy's Planetary Hypotheses." *Transactions of the American Philosophical Society. New Series*, 57 (4): pp. 3-55.
- Grant, E. (1994). *Planets, Stars, and Orbs: The Medieval Cosmos, 1200-1687*. New York: Cambridge University Press.
- Neugebauer, O. (1975). *A History of Ancient Mathematical Astronomy*. Three volumes. New York: Springer.
- Pecker, J-C. (2001). *Understanding the Heavens: Thirty Centuries of Astronomical Ideas from Ancient Thinking to Modern Cosmology*. Edited by S. Kaufman. Berlin: Springer,
- Pedersen, O. (2010). *A Survey of the Almagest. With Annotation and New Commentary by Alexander Jones*. Second Edition. New York: Springer. [First Edition: 1975].
- Ptolomeo, C. (1984). *Ptolemy's Almagest*. Edited and Translated by G. J. Toomer. London: Duckworth.
- Rosen, S. (1984). *Copernicus and the Scientific Revolution*. Malabar, FL.: Krieger.
- Sober, E. (2015). *Ockham's Razor: A User's Manual*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Schindler, S. (2018). *Theoretical Virtues in Science: Uncovering Reality through Theory*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Swerdlow, N. & Neugebauer, O. (1984). *Mathematical Astronomy in Copernicus's De Revolutionibus*. New York: Springer.
- Teón de Esmirna (1979) *Expositio rerum mathematicarum ad legendum Platonemutilium*.

Traducción inglesa de R. y D. Lawlor: *Mathematics Useful for Understanding Plato*. San Diego: Wizards Bookshelf.



The *Carte du Ciel*: an early global cooperation project

Ileana Chinnici*

Resumen

La *Carte du Ciel* marcó un hito en la astronomía, ya que abrió el camino a la cooperación científica internacional y a la aplicación extensiva de la fotografía en astronomía. Este ambicioso proyecto fue concebido a finales del siglo XIX con el fin de obtener un mapa fotográfico detallado de toda la bóveda celeste (no lo consiguió, pero produjo un catálogo fotográfico completo de las estrellas, un resultado mucho más complejo, costoso y que requirió mucho tiempo). A pesar de sus fracasos, divergencias y retrasos, el proyecto *Carte du Ciel* desempeñó un papel importante en la construcción de una red de cooperación científica a escala mundial. En este sentido, puede considerarse un paradigma para las empresas científicas internacionales, donde los aspectos diplomáticos y pragmáticos coexisten y pueden influir en el resultado de los proyectos.

Palabras clave: astrofotografía, cooperación internacional, catálogos de estrellas, mapas estelares, *Carte du Ciel*.

Abstract

The *Carte du Ciel* made an epoch in astronomy as it paved the way to the international scientific cooperation and to the extensive application of photography in astronomy. This ambitious project was conceived at the end of the 19th century in order to obtain a detailed photographic chart of the entire sky vault (it failed in this respect, whereas produced a complete photographic star catalogue, by far a more complex, time) consuming and expensive result. Through failures, divergences, and delays, the *Carte du Ciel* project played an important role in building a network of scientific cooperation on a global scale. In this sense, it can be considered as a

* INAF – Osservatorio Astronomico di Palermo

paradigm for the international scientific enterprises, where diplomatic and pragmatic aspects coexist and may influence the outcome of the projects.

Keywords: astrophotography, international cooperation, star catalogues, star charts, *Carte du Ciel*.

I. Introduction

“The *Carte du Ciel* enterprise has established the foundations of the international scientific cooperation, has introduced the practice of astrophotography, revealing its obstacles, its methods, its limits” (Couderc, 1971).

These words by French astronomer Paul Couderc, pronounced at the General Assembly of the International Astronomical Union in 1970, perfectly resume and explain the role played by the *Carte du Ciel* project in the history of astronomy.

This wide international scientific enterprise was launched in 1887 from Paris Observatory [fig. 1], under the directorship of Admiral Ernest B. Mouchez and was the first attempt to produce a complete and detailed photographic chart and catalogue of both sky hemispheres. Since the beginning, it was conceived as a worldwide endeavor by the concurrent cooperation of various observatories in many countries, coordinated by the Paris Observatory. Without entering into technical details, described elsewhere (e. g. Chinnici 2008), this paper is mainly focused on the international dimension of the project.

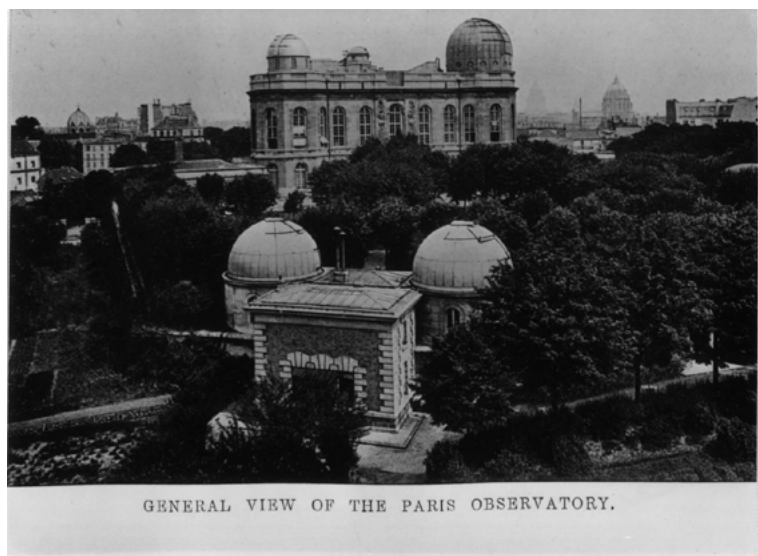


Figure 1. General view of the Paris Observatory.

Source: *The Observatory*, vol. XXXVI, 1913.

II. Early international cooperation in astronomy

During the 19th century, scientific cooperation in astronomy was a recurrent idea, whenever extensive campaigns of observations and data processing were required. An early example was the Lilienthal Society (also known as Himmelspolizei) established in Germany in 1800 to survey the ecliptic star charts, in order to chase the suspected missing planet between Mars and Jupiter. The project was interrupted in 1801 by the unexpected discovery of Ceres at Palermo Observatory, but it was reshaped later. With the purpose of detecting asteroids, in fact, the Berlin Academy of Sciences launched a call to astronomers of all countries to revise different sky zones of the ecliptic, with a money award for those who completed in time the revision of their zone. This work resulted in the publication of the *Akademische Sternkarten* in the years 1830-1859. In the last quarter of the century, the *Astronomische Gesellschaft* was established in Heidelberg to revise the *Bonner Durchmusterung* catalogue and produce a new revised catalogue, known as AGK, the

best northern star catalogue at the end of the 19th century. In 1871, the Italian Spectroscopic Society proposed a programme of solar monitoring, open to international collaborators, that inspired the creation of the International Committee on Solar Research in the US in 1904. Of course, the application of spectroscopy and photography in astronomy increased the amount of collected data to be processed and consequently the need of a cooperative approach.

III. Origin and development of the *Carte du Ciel* project

Early astronomical photography was practiced in many countries around the half of the 19th century, by professional and non-professional reputed astronomers, such as Warren De la Rue and William Huggins in the UK, Henry Draper in the US, Father Angelo Secchi in Italy, Hippolyte Fizeau and Léon Foucault in France. They took daguerreotypes as well as photographs of the Moon, the Sun, total solar eclipses, comets and so on. We may look at their studies as the seeds of the future *Carte du Ciel* enterprise, as they started to develop astrophotographic techniques in their countries.

In the Southern hemisphere, sir David Gill, director of the Cape of Good Hope Observatory, obtained an excellent photograph of the Great Comet of 1882 and remarked that very faint stars were visible in the background. He hence started planning to make a photographic star map of the southern heavens.

In France, Mouchez (probably stimulated by Gill's results) decided to invest in astrophotography and established an "atelier photographique" at Paris Observatory. He asked famous opticians brothers Paul and Prosper Henry to build high-quality lenses for astronomical photography and in 1884 they successfully took photographs reproducing stars to magnitude 12. Gill was informed about these photographs and wrote to Mouchez, revealing his intentions:

"I propose to make a complete and uniform series of Photographic Maps of the Southern Heavens, making also a Catalogue of approximate places and magnitudes from these maps. I feel sure that I can count upon your aid in this matter". (D. Gill to E. Mouchez, 18/01/1885 in Chinnici 1999, p. 82)



Stimulated by this request of collaboration, Mouchez commissioned to the Henry brothers an instrument of higher performance. They designed a double lens astrograph, consisting of two joined refractors, one for visual observations, the other for the photographic work. The mounting, constructed by French maker Paul Gautier, permitted to completely rotate the instrument around the polar axis. The so-called Henry-Gautier astrograph [fig. 2] started to be operating at Paris Observatory in 1885 and produced astonishing results, with stars to magnitude 15 visible on the plates.

Enthusiastic about these results, Mouchez presented the star photographs to the Académie des Sciences (Mouchez 1885), announcing that time was ready to make a complete photographic map of the sky. Encouraged by Gill, he started to search for partners, and sent explorative letters to the main astronomical societies as well as to some colleagues, appropriately chosen from a scientific and geographic point of view. He asked their advice about the making of a complete photographic sky chart, joining a copy of the plates obtained by the Henry brothers:

“... I send you a photographic plate of the Milky Way obtained with our new instrument [Henry-Gautier Astrograph] [...] In one hour exposure, we obtain all stars up to magnitude 15 on plates and 14 on paper [...] Since the plate covers a sky area of 7 square degrees, we would need 6 000 plates to cover the entire sky vault” [...].

“The photographic sky chart is today easy to achieve if 5 or 6 observatories well positioned in both hemispheres agree to carry out this extended and important work. It could be completed in 6 or 8 years and we shall leave to future astronomers the exact representation of our sky at the end of the 19th century, with 20 or 25 million of stars.” (E. Mouchez to E. C. Pickering, W. Huggins, L. Cruls and O. W. Struve, 26/06/1885 and 15/07/1885 in Chinnici 1999, pp. 4-5)

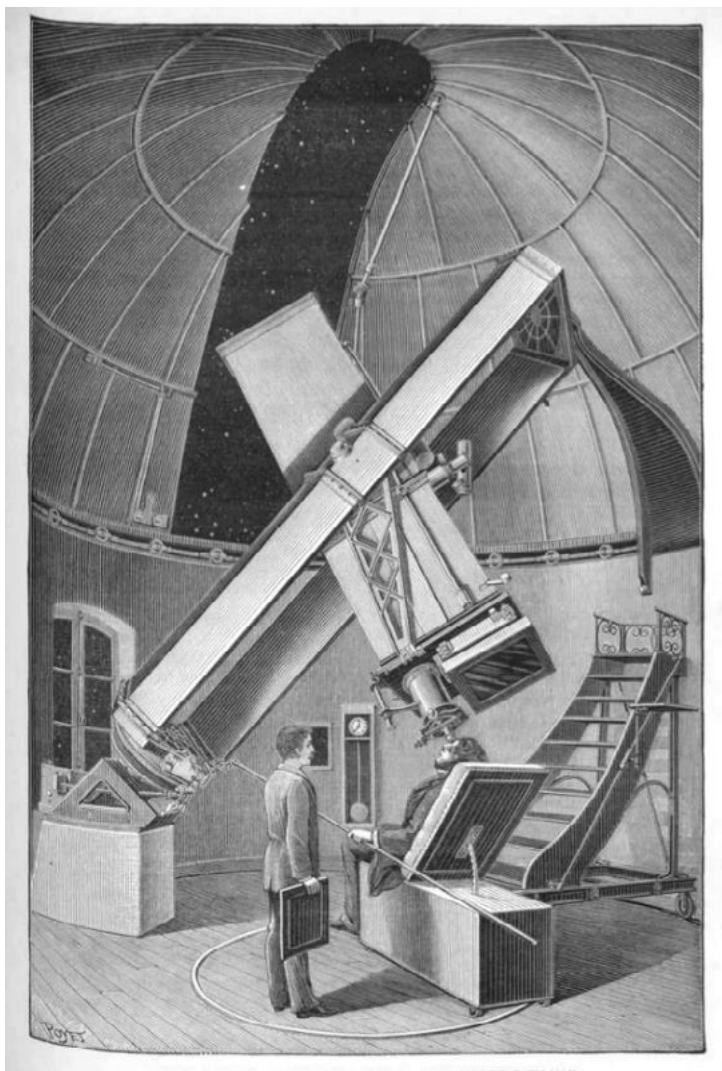


Figure 2. The Henry-Gautier astrograph. Source: *Bulletin hebdomadaire de l'Association Scientifique de France*, Paris, 1886.

Once he knew about their positive responses, Gill sent to Mouchez a draft of the project, recommending uniformity of the equipment and cooperation from other observatories:

“... star charting [...] must be begun on a plan carefully preconsidered in every detail and carried out by instruments and methods as far as possible absolutely identical.” (D. Gill to E. Mouchez, 01/03/1886 in Chinnici 1999, p. 87)

Gill, with the collaboration of Dutch astronomer Jacobus C. Kapteyn, was working at his Cape Photographic Durchmusterung (Gill 1913) and was hence in a condition to give appropriate warnings and suggestions about the execution of the work. Of course, the project needed to be discussed with the potential participants and he proposed to held a conference in Paris in spring 1887: “... I think it would be essential to have a Conference and I would be glad to attend such a conference at Paris in March or April 1887.” (D. Gill to E. Mouchez, *ibid.* p. 88)

The first astro-photographic conference was held in Paris in April 1887. Fifty-six astronomers from 18 countries, mostly European, attended the meeting, thanks to the important diplomatic effort made by the French Academy of Sciences, which made the invitations though the French diplomatic channels. Mouchez’s opening speech, some how bombastic, expressed the awareness of undertaking an unprecedented and epoch-making enterprise:

“... it is a great honor to host the first assembly opening this new era for the astronomical science. It will be a glorious and unforgettable date in the history of astronomy, as will be unforgettable the magnificent work that we want to transmit to the future generations, a work that can be defined as the most exact and complete inventory of the detectable universe at the end of the 19th century.” (Mouchez 1887, original text in French)

The congress members decided to establish an International Standing Commission including the directors of the participant observatories and are stricted Executive Committee to draft the work plan and supervise the execution of the work. Both were formed by European astronomers (except for Edward C. Pickering from Harvard Observatory, US) and

presided by Mouchez. The Commission should have held its meetings every two years in Paris, but this biennial cadence will not be respected, becoming irregular after the third meeting.

It was clear that the *Carte du Ciel* was a hugely expensive project: the only total cost of the Henry-Gautier astrograph plus the machine for measuring the star position of the plates (the so-called *macromicromètre*) was 35,000 French francs (for comparison, the average annual salary of a French astronomer was around 300 FF). In addition, staff and publication costs should also be included. It was hence decided that all observatories being able to obtain financial support from their governments (at least for acquiring the instruments), would have joined the enterprise.

The original goal was to obtain a sky map covering the whole sky vault, with stars to the 14-15 magnitude, but at the second meeting of the Commission, in 1889, the execution of the projects appeared much more complex and expensive, due to the additional work for producing an astrophotographic catalogue with stars to the 11 magnitude [Table 1].

Chart	Catalogue
Magnitude limit: 14	Magnitude limit: 11
30-40,000,000 stars	4,000,000 stars
22,000 plates	22,000 plates
17-18 observatories	
Field: 2° x 2°	150-500 stars per plate
Scale: ~ 1 arcmin/mm	200-400,000 measurements
Estimated duration: 6-8 years	Estimated duration: 25 years

Table 1. Summary of the *Carte du Ciel* project

Of course, the astrographic catalogue, which was expected to contain about 4 million stars, would have been a breakthrough in comparison with the best catalogues available at that time, namely the *Astronomische Gesellschaft* catalogue with about 300,000 northern sky stars and the

Uranometría Argentina, made at Cordoba Observatory, with about 130,000 southern sky stars.

Gill, therefore, who acted as a sort of *éminence grise* of the project, insisted on the importance of the catalogue:

“...the point capital will become not la carte photographique du ciel– in the sense of so many photographic plates of the sky – that will become effete long before the work is finished [...]. It is the Catalogue, the organization for its execution, computation and publication which must cause the Astrophotographic Congress of Paris to be an Epoch in the History of Astronomy. That must be kept in vue [by the Committee].”
(Gill to Mouchez, 1889)

This change of programme, however, was strongly criticized by the astronomical community, especially in England. The pages of the journal *The Observatory* contain violent attack against Gill, who was considered responsible for having “illegally magnified” the scope of the work and “illegally substituted” a chart with a catalogue (*The Observatory*, 1891, pp. 184-185).

Nevertheless, little by little, the star map was left in the background, and the main attention was paid to the execution of the catalogue. In the third meeting, held in 1891, it was announced the participation of 18 observatories and assigned the sky zones to be photographed by each of them (Table 2).

From the list of the participant observatories, it is easy to infer that the geopolitical map of the project shows a mixing of countries with a consolidated tradition in astronomy, stable political situation and flourishing economy, and others having scarcity of resources, training, expertise and facilities, as well as political instability, whose observatories abandoned the project in the succeeding years.

As a whole, by also considering the observatories that replaced the withdrawals, the *Carte du Ciel* can be considered a worldwide project of scientific cooperation on a global scale, with participant observatories in all continents [Fig. 3].

+90° +65°	Greenwich	United Kingdom
+64° +55°	Vatican	Vatican
+54° +47°	Catania	Italy
+46° +40°	Helsingfors (= Helsinki)	Finland (part of the Russian Empire)
+39° +32°	Potsdam (later Uccle)	Germany
+31° +25°	Oxford	United Kingdom
+24° +18°	Paris	France
+17° +11°	Bordeaux	France
+10° +05°	Toulouse	France
+04° -02°	Algiers	Algeria (French colony)
-03° -09°	San Fernando	Spain
-10° -16°	Tacubaya (= Mexico City)	Mexico
-17° -23°	Santiago (later Hyderabad)	Chile
-24° -32°	La Plata (later Córdoba)	Argentina
-33° -40°	Rio do Janeiro	Brazil
-41° -51°	Cape of Good Hope	South Africa (UK colony)
-52° -64°	Sydney	Australia (UK colony)
-65° -90°	Melbourne	Australia (UK colony)

Table 2. Sky zones assigned to the participant observatories in 1891

It is striking, however, the absence of North American observatories in the list. Effectively, Edward C. Pickering, influential director of Harvard College Observatory, criticized the complexity of the project and preferred to make an alternative sky atlas on smaller scale, by using wide field cameras and short focal length telescopes, a work which he successfully achieved and published in 1890 (Pickering 1903).

IV. European observatories

France was, of course, the nation most involved in the *Carte du Ciel*, with four observatories taking part in the project, including the colonial one in Algiers [Fig. 4], whose astronomers played an important role in providing technical details about usage of screens and preservation of the plates.

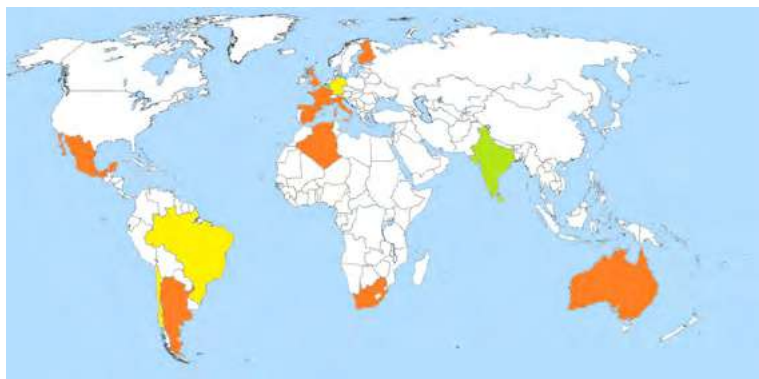


Figure 3. Map showing the global scale of the *Carte du Ciel* project. In orange and yellow, countries initially involved; in yellow, those that abandoned later; in green, those replacing the withdrawn ones.

Credits: the author.

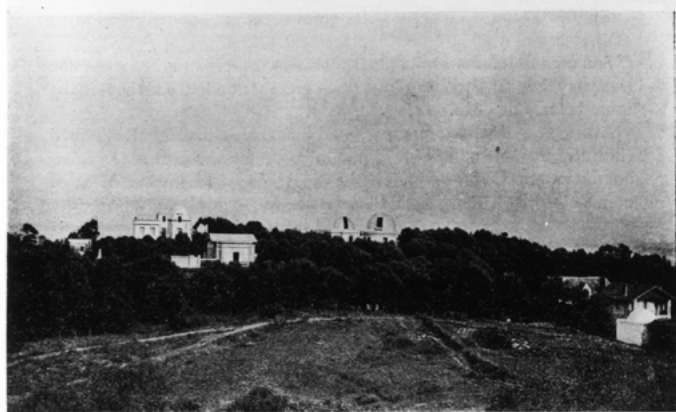


FIG. 1. — L'Observatoire d'Alger. Vue générale prise de l'Ouest.

Figure 4. General view of the Observatory of Algiers.

Source: *Ciel et Terre*, vol. 32, 1911.

Paris Observatory was the pulsating heart of the project and the reference point for the participant observatories: it hosted all meetings of the Standing Commission; the director was by default the President of the Commission; a Central Bureau for plates measurement was also established there, in 1891 (see below). The other French observatories ensured the execution of a large part of the work and hence the leadership of France, which remained unquestioned until the end of the project. Moreover, Henry-Gautier astrographs were ordered not only from the French participant observatories but also for the Vatican, La Plata, Córdoba, Santiago, San Fernando, Rio do Janeiro and Uccle Observatories, namely 11 over a total of 18: a really successful result for the French industry of optical instruments. Photographic plates by Lumière brothers were also widely used for the *Carte du Ciel* work by many participant observatories, even out of France.

Regarding the British observatories, Gill obtained funds for the participation of the Observatories of Greenwich and Cape. Moreover, Oxford University as well as Australian observatories also took part in the project, so that, after France, the United Kingdom was the nation that

mostly invested in the *Carte du Ciel*. They had, however, to overcome, a major problem concerning the acquisition of the instruments. Dubliner maker Howard Grubb, in fact, fearing to miss a big business, threatened to raise a question in the Parliament if French astrographs were purchased for the British observatories. British astronomy, however, was mostly based on the use of reflecting rather than refracting telescopes. The *Carte du Ciel* astrographs required high-quality objective-lenses and Grubb had to work hard to obtain instruments comparable to those made by the Henrys [Fig. 5]. For this reason, the British observatories delayed the beginning of their work, although they regularly carried it out afterwards. Nationalism, protectionism, competition and financial interests, in the end, prevailed against the appropriateness of using identical instruments in all participant observatories.



Figure 5. The Grubb astrographic refractor at Greenwich Observatory.

Source: *Astrographic Catalogue 1900.0, Greenwich Section*, vol. I, 1904.

A few other European observatories used German optics by Steinheil and mounting by Repsold or other local makers. The observatories of Helsinki and San Fernando carried out quite regularly their work, whereas that of Catania met with many difficulties and delays; Potsdam

Observatory was the only European observatory that abandoned for lack of resources and was replaced by Uccle Observatory, in Belgium, in 1904.

A special mention is due to the Vatican Observatory, as it was established on purpose to participate in the *Carte du Ciel* project, as a reaction to the confiscation of the Papal observatories by the Italian government.

V. Non-European observatories

Out of Europe, among the initial participants, only the Tacubaya Observatory in Mexico completed the photographic work. In about a decade, many observatories of Latin America abandoned the work and were replaced by others (Paolantonio and García 2009). At the beginning of the 20th century, La Plata Observatory [Fig. 6] was replaced by Cordoba (La Plata later provided reference stars catalogues for the *Carte du Ciel* astrographic catalogue; Rieznik 2011, chapters VI and VII) and Rio do Janeiro by Perth Observatory; the Santiago zone was reassigned to the Nizamiah Observatory in Hyderabad, India, being considered more reliable.



Figure 6. General view of the Observatory of La Plata.

Source: *Popular Astronomy*, N° 233, 1916.

It is important to remark that, in Latin America, the execution of the photographic work was successfully carried out where astronomers had already practiced astrophotography, namely in Tacubaya and Córdoba Observatories, the latter having published the *Fotografías Cordobesas*, the first extensive and systematic photographic survey of the southern sky, carried out from 1872 to 1884.

The desertions of the other observatories were due to many reasons. Some countries underestimated the required financial effort, others met with political instabilities, financial crises, difficulties in provisions, insufficient resources, inadequate directorship and so on. All these circumstances hampered or blocked the execution of the work. Their participation was sometimes unrealistic, mainly based on the desire to obtain additional resources from the governments and gain visibility and prestige in the international context.

A similar search for visibility and resources also drove the participation of some British colonial observatories, wishing to acquire scientific lustre (Haynes *et al.* 1996).

VI. An underestimated effort

The photographic work was just a part of the entire project. A major effort, regarding the catalogue, was the measurement of the star coordinates on the plates, their conversion into equatorial coordinates and their reduction to the year 1900. This accurate and delicate work should have been well standardized and coordinated. For this reason, Gill suggested the establishment of a Central Bureau and proposed to entrust this work to female staff to reduce the costs (D. Gill to E. Mouchez, 30/08/1891 in Chinnici 1999, p. 107).

The Central Bureau was established in Paris and directed by a woman astronomer, Dorothea Klumpke. Many observatories recruited women to measure the star coordinates on the plates (even the Vatican Observatory employed nuns), as they assured highly results at low cost, being trained in patient, accurate and repetitive work (like embroidery and needle work). In those very same years, at Harvard College Observatory, other women were measuring and classifying stellar spectra for another major project, the Henry Draper Memorial Catalogue. The contribution of all these women was crucial for the successful execution of both these

projects. Moreover, some observatories went in help of the others and assumed their measurement work (plates taken in Perth, for instance, were measured in Edinburgh).

At the beginning of the 20th century new interests, however, emerged in astronomy, notably in the field of galactic astronomy and cosmology and the initial enthusiasm about the *Carte du Ciel* faded away. The work revealed to be too expensive and time-consuming and risked to become obsolete. It was necessary to reshape the project and to re-motivate the participant observatories.

The impulse given by Maurice Loewy, once he became President of the Standing Commission, was decisive. The sky zones left vacant by the withdrawn observatories were reassigned and the work was optimized and reorganized. The resolutions taken in 1909 (establishment of three sub-commissions for the reference catalogue, the Eros' parallax and the Kapteyn Selected Areas) were aimed at giving new impetus and scientific sense to the project, by enlarging its horizon. The project fragmented, however, losing its consistency and unity. In addition, after a considerable financial investment and about 30 volumes of the catalogue already published, the *Carte du Ciel* project was interrupted because of the catastrophic World War I. Most of the European observatories reduced or interrupted their activities, most of the staff was called up to arms, and finances were cut to sustain military operations. The project completion was seriously compromised. After the war, in 1919, the International Astronomical Union (IAU) was established with the explicit purpose to promote the international cooperation in the field of astronomical research.

The *Carte du Ciel* had paved the way to this new institution, as it had effectively created an international network and an organization method that facilitated the establishment of the IAU (Chinnici 2022). The completion of the work was entrusted to Commission 23, which replaced the Standing Commission. It was decided to give priority to the achievement of the catalogue. The support given by the IAU was determining, as the publication of the last 20 volumes was entirely financed by the IAU and in 1964 the catalogue work was completely published, although without the reduction of the coordinates (only made by Helsinki and Catania Observatories).

The chart [Fig. 7] met with a different fate. After many decades elapsed, its completion was considered obsolete, due to the development of Schmidt cameras, and it was abandoned. About a half of the chart plates (with longer exposure than the catalogue plates) were either never taken or

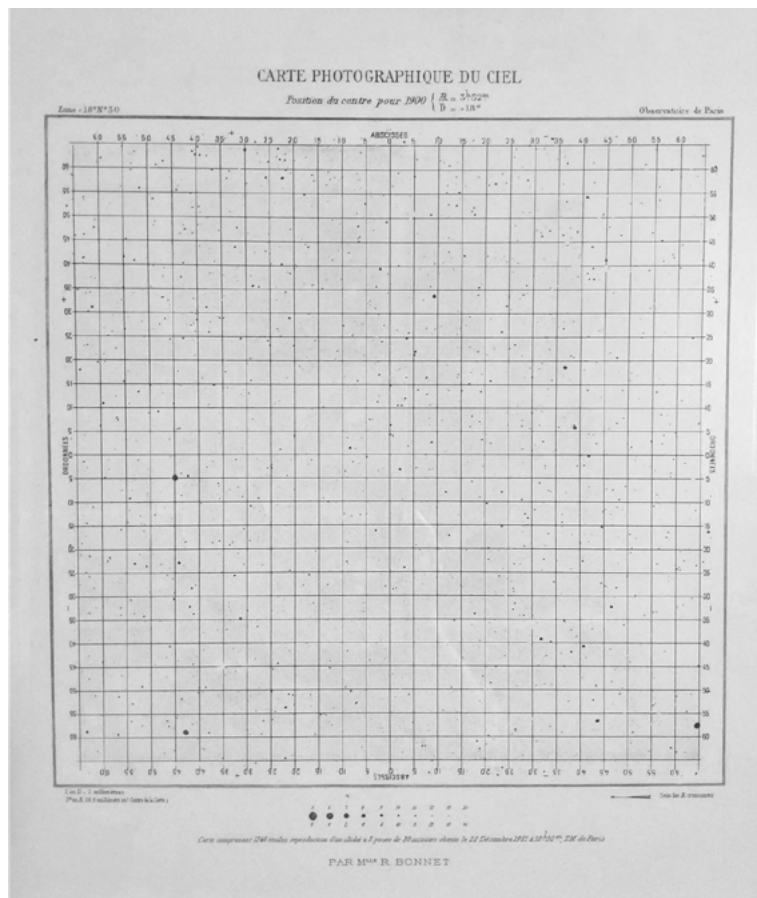


Figure 7. A typical reproduction of a *Carte du Ciel* plate on special light cardboard. Source: INAF-Osservatorio Astronomico di Palermo, Historical Archives.

never printed (Randazzo 2017), as the printing procedure was much expensive. In the IAU General Assembly of 1970 it was definitely decided to leave the chart unachieved. Commission 23 (*Carte du Ciel*) merged with Commission 24 (Parallaxes & proper motions) into a new Commission 24 (Photographic Astrometry).

Sixty years later than expected, the *Carte du Ciel* enterprise finally come to an end, with a mix of success (the completion of the Astrographic Catalogue) and failures (the non-achievement of the map).

VII. Concluding remarks

The *Carte du Ciel* project was an ambitious but premature endeavor. It was marked by an increasing complexity and undermined by a number of predictable weak points (ambiguity and diversity of purposes, non-homogeneous instruments, management failures, unsolved technical questions, different political and economic situations of the participant countries) and unpredictable diverging factors (political instability of the governments, world conflicts, development of new technologies - e. g., Schmidt cameras, new scientific frontiers (e. g., extra-galactic astronomy). These elements (and probably others too) were responsible for the unacceptably long time of execution and the incompletion of the original project. The *Carte du Ciel* can hence be considered a paradigmatic case for scientific enterprises, as it shows how much these factors may impact on the execution of a large international project. Mostly important, it has provided a model of organization for the international astronomical community, being the first example of international scientific cooperation on a worldwide scale.

Moreover, this gigantic effort has left an important scientific legacy. In the 1990s, the Astrographic Catalogue was digitized at the US Naval Observatory and made available as AC2000; it found important applications in the construction of the reference catalogue for the ESA astrometric mission Hipparcos.

Couderc was definitely right in affirming:

Our gratitude is to be deserved to those who have generously cooperated to it, and the results that the Catalogue is expected to provide in a near future, will certainly justify their perseverance. (Couderc, 1971)

References

- Chinnici, I. (1999). *La Carte du Ciel, Correspondance inédite conservée dans les archives de l'Observatoire de Paris*, Palermo : Observatoire de Paris & Osservatorio Astronomico di Palermo G. S. Vaiana.
- Chinnici, I. (2008). "La Carte du Ciel: genèse, déroulement et issues". *La Carte du Ciel*. J. Lamy (Ed), Les Ulis: EDP Science.
- Chinnici, I. (2022). "Precursors to IAU: Paris Observatory and the Carte du Ciel Project". *Astronomers as diplomats: when IAU builds bridges between nations*. T. Montmerle & D. Fauque (Eds), Berlin: Springer.
- Couderc, P. (1971). "Historique de la Commission de la Carte du Ciel", *Transactions IAU*, Vol. XIV, pp. 172–178.
- Gill, D. (1913). *A History and Description of the Royal Observatory, Cape of Good Hope*, London.
- Haynes, Ra.; Haynes, Ro.; Malin, D.; McGee, R. (1996). *Explorers of the Southern Sky. A History of Australian Astronomy* Cambridge: Cambridge University Press.
- Mouchez, E. B. (1885), "Carte photographique du ciel à l'aide des nouveaux objectifs de MM. P. et Pr. Henry". *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences*. Vol.100, pp. 1177-1181.
- Mouchez, E. B. (1887), "Discours de M. le contre-amiral Mouchez", *Congrès astrophotographique international tenu à l'Observatoire de Paris pour le levé de la Carte du Ciel*, Paris: Gauthier-Villars, pp. 5-7.

- Paolantonio, S.; García, B. (2009). "The *Carte du Ciel* and the Latin American Observatories". *Under One Sky: The IAU Centenary Symposium, Proceedings IAU Symposium No. 349*. C. Sterken, J. Hearnshaw and D. Valls-Gabaud (Eds). Cambridge: Cambridge University Press.
- Pickering, E. C. (1903). "A photographic map of the entire sky". *The Astrophysical Journal*, Vol. 18, pp. 70-74.
- Randazzo, D. (2017), *The Carte du Ciel enterprise*, www.astropa.inaf.it/carte-du-ciel/the-sky-charts/ (accessed on May 2024).
- Rieznik, M. (2011). *Los cielos del sur. Los observatorios de Córdoba y de La Plata, 1871-1920*, Rosario: Prohistoria Ediciones, Colección Historia de las Ciencias.



El Observatorio Astronómico de La Plata: Astronomía y Arquitectura / permanencias y transformaciones, 1883-1923

Lydia Cidale*

Fernando Gandolfi **

Agustín Ramos Costa[‡]

Resumen

El Observatorio de La Plata (OALP), Argentina, creado en 1883, ha tenido un papel importante en el desarrollo de la Astronomía y la Geofísica en el hemisferio sur. Su historia material está ligada al plan de construcción de La Plata como “Nueva Capital” de la provincia de Buenos Aires y a la observación del tránsito de Venus en 1882. La adquisición de los instrumentos utilizados por la misión internacional para la observación de Venus, en la ciudad de Bragado, fue la base técnica para erigir el Instituto situado en el Paseo del Bosque. Prontamente, el OALP mostró una clara transición de la Astronomía clásica a la Astronomía moderna, con la consecuente adquisición de un instrumental de excelencia y de vanguardia que lo llevaría a posicionarse entre las instituciones principales de su clase en el hemisferio austral. Convergen en su diseño, la permanencia del paisaje en que interactúan edificios independientes, concebidos con la idea de contener un solo instrumento, y espacios verdes. Alrededor de 1914, ya todo el conjunto constaba de una veintena de obras, un edificio principal pensado como un pequeño palacio renacentista para tareas de administración y residencia, un conjunto de edificios de plantas circulares y cúpulas metálicas y otros con compuertas deslizables. A lo largo de los años, se han conservado los instrumentos fundacionales de mayor porte.

* Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAG), Universidad Nacional de La Plata (UNLP) e Instituto de Astrofísica de La Plata (CONICET-UNLP).

** Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU, UNLP) e Instituto de Investigaciones en Historia, Teoría y Praxis de la Arquitectura y la Ciudad (HiTePAC, FAU, UNLP).

[‡] Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAG), Universidad Nacional de La Plata (UNLP).

Algunos edificios atravesaron (paulatinamente) transformaciones e intervenciones acordes a problemas estructurales, nuevos conceptos en diseño y la necesidad de crecimiento para el desarrollo de la enseñanza y la investigación. A 140 años de su creación, el antiguo Instituto devino primero en Escuela y luego en Facultad, ampliando sus campos disciplinares. El objetivo de este trabajo es realzar el valor histórico cultural y patrimonial del OALP merecedor de su conservación y transmisión a las generaciones futuras. En este contexto –y próximo a ser declarado Monumento Histórico Nacional- resulta propicio reflexionar sobre su historia institucional, académica y científica, y el plan integral de conservación del conjunto.

Palabras clave: historia de la ciencia, patrimonio, patrimonio cultural, arquitectura, identidad.

Abstract

The Observatory of La Plata, Argentina, created in 1883, has played an essential role in developing Astronomy and Geophysics in the Southern Hemisphere. Its material history is linked to the construction plan of La Plata city as the “New Capital” of the province of Buenos Aires. The acquisition of the instruments used by the international mission to observe Venus in Bragado was the technical base to erect the Institute located on the Paseo del Bosque. Soon, the OALP showed a clear transition from classical to modern Astronomy, with the consequent acquisition of an instrument of excellence and avant-garde that would lead it to position itself among the main institutions of its kind in the southern hemisphere. The OALP merges the permanence of the landscape in which independent buildings, conceived with the idea of containing a single instrument, and green spaces interact. Around 1914, the entire complex consisted of twenty buildings, including a central house designed as a small Renaissance palace for administration and residence tasks, buildings with circular floors and metal domes and others with sliding gates. Over the years, the largest founding instruments have been preserved. Some buildings gradually underwent transformations and interventions due to structural problems, new concepts in design and the need for growth in the development of teaching and research. After 140 years of its creation, the old Institute became a School and then a Faculty, expanding its disciplinary fields.

The goal of this work is to enhance the OALP's historical, cultural and heritage value, making it worthy of conservation and transmission to future generations. In this context (and as it is to be declared a National Historical Monument) it is appropriate to reflect on its institutional, academic, and scientific history, and the comprehensive conservation plan.

Keywords: history of science, heritage, cultural heritage, architecture, identity.

I. Introducción

En sus orígenes, el Observatorio de La Plata (OALP) fue pensado sobre un innovador concepto arquitectónico acorde a la tecnología emergente de la época. Su historia está estrechamente vinculada al plan de construcción de La Plata como la “Nueva Capital” de la provincia de Buenos Aires. En su aspecto constructivo material, convergen la permanencia del paisaje en que interactúan edificios y espacios verdes, la conservación de sus instrumentos fundacionales y las transformaciones que (paulatinamente) atraviesan tanto a los edificios como a los dispositivos que hacen posible el desarrollo de la enseñanza y la investigación. Si bien esta institución forma parte de un extenso y variado conjunto de obras destinadas a cubrir las principales necesidades edilicias de una ciudad *ex novo*, proyectadas y construidas en un lapso relativamente breve (desde la fundación de la ciudad, en 1882, hasta la crisis económica de 1890) a su singularidad contribuyen diversos aspectos: desde la particularidad de su función primordial (el estudio del geomagnetismo, la meteorología y el universo, a partir de observaciones mediadas por instrumentos ópticos) hasta la configuración de cada uno de los edificios destinados a fines científicos específicos y, finalmente, el medio cuasi extraurbano en que el conjunto se insertó.

Tampoco estuvo ausente cierta dimensión épica en su origen; un episodio peculiar ya legendario: la génesis del Instituto del Observatorio ligado a un evento astronómico singular: el tránsito de Venus a través del disco del Sol, el 6 de diciembre de 1882, a dos semanas de colocada la piedra fundacional del futuro Observatorio. En efecto, la adquisición de los instrumentos utilizados por la misión internacional para realizar la observación del tránsito de Venus en la ciudad de Bragado (a 250 km de

La Plata) fue la base técnica para erigir el Instituto situado en el Paseo del Bosque.

Prontamente, el Observatorio mostró una clara transición de la Astronomía clásica a la Astronomía moderna, con la consecuente adquisición de un instrumental de excelencia y de vanguardia que lo llevaría a posicionarse entre las instituciones principales de su clase en el hemisferio austral. El crecimiento instrumental y científico del Observatorio motivarían el desarrollo de nuevas disciplinas de investigación. En este contexto, el Observatorio estuvo involucrado en el desarrollo de varias técnicas de uso universal, tales como: desarrollo de novedosos métodos de medición y de control, desarrollo de teorías e instrumentos, etc. (cf. Giménez Benítez & Cidale, 2023). Desde un principio, ha tenido también un importante intercambio de valores humanos en el mundo y del mismo modo la institución lideró tempranamente (durante décadas) las mediciones e investigaciones en geofísica. En este esquema de crecimiento progresista, el OALP se constituye en una de las instituciones fundacionales de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) en 1905, creándose la Facultad de Ciencias Físicas, Matemáticas y Astronómicas, donde el Observatorio era considerado un departamento de investigación (Hussey et al., 2014). Pero, luego, el Observatorio se separa de la administración de la Facultad en 1911, al realizarse modificaciones al reglamento de la Universidad. En 1935, inicia, entonces, la primera carrera universitaria de Astronomía y Geofísica del país, denominada “Escuela Superior de Ciencias Astronómicas y Conexas”, a fin de cumplir con el “objetivo nacional que se tuvo en vista al fundarlo: la formación de astrónomos argentinos, para que puedan llegar a vincularse efectivamente por su intermedio a la obra de cultura astronómica nacional e internacional”. Así, la Escuela desempeñó un papel sobresaliente en la enseñanza de la astronomía en Argentina y América Latina. En 1948, se rebautizó como Escuela Superior de Astronomía y Geofísica que luego se transformaría, en 1983, en la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAG).

El objetivo de este trabajo es destacar el valor histórico patrimonial del OALP, que se expresa (en lo tangible) en las características arquitectónicas y paisajísticas del conjunto edilicio, el instrumental, y el equipamiento técnico-científico, y (en lo intangible) en la significación de los aportes científicos generados desde su creación, el intercambio de valores humanos, y el importante papel que desempeñó la enseñanza de la astronomía

en el país y en América Latina. Estos valiosos aspectos (primigenios, singulares y de carácter universal) su estado de conservación y la continuidad de las actividades que le dieron origen, ameritan su valoración como bien patrimonial y, como tal, su transmisión a generaciones futuras. Pero esa valoración debe fundarse en un conocimiento profundo del bien y de su contexto, siendo indispensable reflexionar sobre la historia institucional, académica y científica, y el plan integral de conservación de la obra en conjunto.

II. La Ciudad de La Plata y su Observatorio Astronómico

La creación de la ciudad de La Plata fue producto de una serie de circunstancias en el marco de un conflicto de intereses (políticos, económicos y militares) entre los gobiernos de la nación y la provincia de Buenos Aires, que tuvo como “solución” la federalización de la ciudad de Buenos Aires y la fundación de una “Nueva Capital” de la provincial [Fig. 1].



Figura 1. Fundación de la ciudad de La Plata. Imagen elaborada en base a una fotografía de Tomás Bradley. Representa la colocación de la Piedra fundacional, en el acto del 19 de noviembre de 1882. Álbum de la Ciudad de La Plata 1882-1932. Establecimiento

gráfico de Olivieri & Domínguez, 1932. En este contexto, el Gobernador Dardo Rocha motorizó lo que llamaremos “Plan La Plata” que consistió desde la expropiación de tierras a la familia Iraola, el trazado de una ciudad ex–Novo (encomendado al Departamento de Ingenieros de la provincia de Buenos Aires) y la construcción de una serie de edificios públicos; algunos productos de concursos internacionales y el resto proyectados por esa repartición a cargo del Ing. Pedro Benoit. Entre esas obras fundacionales, se destacan las sedes de las principales instituciones científicas de la capital provincial: el Museo de Ciencias Naturales y el Instituto del Observatorio Astronómico.

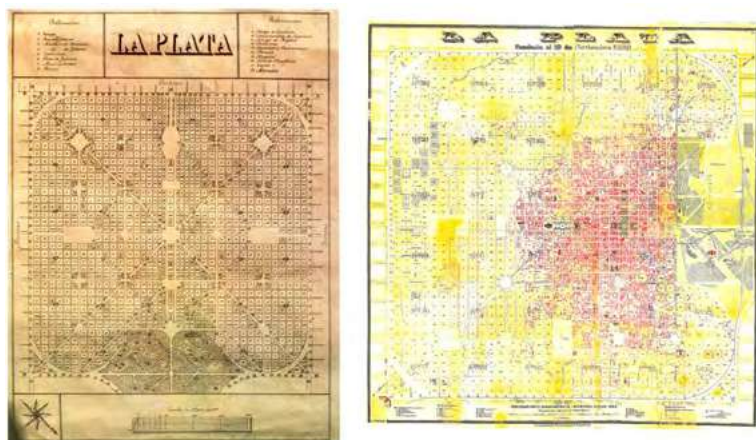


Figura 2. Izquierda: Trazado original de la ciudad La Plata impreso en un pañuelo. Litografía. Museo y Archivo Dardo Rocha. Derecha: Plano del casco fundacional de la ciudad publicada por el Departamento de Ingenieros de la provincia de Buenos Aires, 1888. Municipalidad de La Plata.

Curiosamente, el documento más fehaciente respecto al “trazado original” de la ciudad es el impreso en un pañuelo de seda que fue obsequiado a “las damas” invitadas a la ceremonia fundacional [Fig. 2, imagen de la izquierda]. Puede allí observarse que en el sector del Bosque no se incluyó ninguna construcción (ni aún el preexistente casco de la estancia de Iraola¹) ni proyecto alguno. Mientras que en el plano de la ciudad del año 1888 [Fig. 2, derecha] (a seis años de fundada) ya aparece consolidado un sector central (limitado, precisamente por cauces y tierras bajas), los principales edificios públicos y, en el Bosque, la silueta (en rojo) de los nuevos edificios del Museo, el Observatorio, y del antiguo casco de la estancia de Gerónimo Pereyra Iraola [Fig. 3]. Mientras que en la Fig. 4, puede apreciarse un antiguo plano del OALP con un detalle de la distribución

1 Como conclusión de los trabajos arqueológicos efectuados por Ana Igareta (2006) y su equipo, la autora afirma: “*Todos los edificios que pertenecieron a la estancia Iraola fueron demolidos en los primeros años del siglo XX, pero la evidencia de su existencia y de la vida doméstica de sus ocupantes permaneció enterrada, mientras la ciudad crecía a su alrededor y el Observatorio iniciaba su propia historia*”.

del conjunto de edificios, canteros y senderos. Muy pronto, el conjunto se convertiría en un elemento identitario del idílico paisaje de La Plata; que sería registrado en una de las postales más bellas de la ciudad [Fig. 5].



Figura 3. Izquierda: Detalle del sector del Bosque, se distingue el Museo de Ciencias Naturales, el antiguo casco de la estancia de Gerónimo Iraola (propiedad luego demolida) y el Observatorio Astronómico. Derecha: Casco de la estancia Iraola, situada en el Bosque de La Plata y demolida los primeros años del siglo XX. “El Observatorio antes del Observatorio – Arqueología de la estancia Iraola”. Muestra 140 años del OALP, noviembre de 2023.

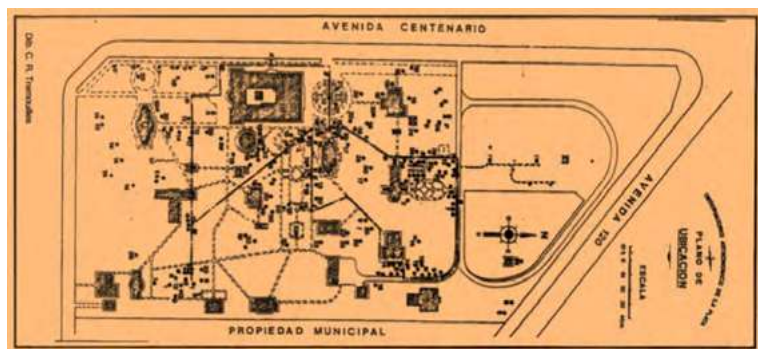


Figura 4. Plano antiguo del “Instituto del Observatorio”. Archivo HiTePAC – FAU/UNLP.



Figura 5. Postal del Gran Ecuatorial, Edificio principal y Reflector.
Archivo HiTePAC – FAU/UNLP.

III. Origen e instrumental

La idea de crear un observatorio astronómico obedeció a la confluencia de dos acontecimientos de importancia e impacto para esa época. Por una parte, la necesidad de realizar un relevamiento cartográfico exhaustivo de la provincia de Buenos Aires y, por otra, un evento astronómico, poco frecuente, que sería visible desde el continente americano, como lo fue el tránsito de Venus por delante del disco del Sol, el 6 de diciembre de 1882. Ese tránsito era el último del siglo XIX, debiendo esperar luego más de 120 años para observar un nuevo acontecimiento (como los ocurridos en 2004 y 2012). Por ese motivo, distintas instituciones científicas organizaron numerosas campañas internacionales para observar el tránsito de 1882. Siete de estas misiones se desarrollaron en nuestro país (Vázquez & Milesi, 2012, Milesi & Vázquez, 2013, 2020, 2022). El objetivo fundamental de las mismas, no sólo consistía en registrar este esporádico evento, sino emplear, por primera vez, para su estudio, una nueva tecnología que combinaba el registro fotográfico y el telégrafo (para transmitir la hora exacta) y así tener medidas precisas del contacto del planeta con el disco del Sol. Estas mediciones lograrían precisar la distancia entre la Tierra y el Sol, escala de distancia que permitiría dimensionar el tamaño de nuestro Universo.

El *Bureau des Longitudes* y el Observatorio de París (Francia) invitaron al gobierno de la provincia de Buenos Aires a organizar una de estas campañas. A tal fin, el Gobernador D. Rocha asignó, en noviembre de 1881, una partida del presupuesto de la provincia para la adquisición de los instrumentos para observar y medir dicho evento. La selección y el diseño de los mismos estuvo a cargo de una comisión, designada por Rocha e integrada por el Tte. de Navío Francisco Beuf², quien luego tendría la misión de construir el Observatorio Astronómico de La Plata. Se adquirieron, entonces, un telescopio refractor Gautier de 21,6 cm de diámetro y 3,1 m de distancia focal, y un cronómetro (Hussey et al., 1914). Estos instrumentos llegaron a Buenos Aires en 1882 y fueron trasladados a Bragado [Fig. 6]. Los mismos, junto a otro equipamiento (un cronógrafo, un pequeño círculo meridiano, dos péndulos astronómicos y un conjunto de instrumentos meteorológicos), adquiridos en la misma partida, contribuirían a la creación del Observatorio Astronómico.

La misión de Bragado estuvo a cargo de Tte. de Navío E. Perrín, y a pesar del mal tiempo, pudieron observar dos contactos directos (el segundo y el cuarto)³.

2 Francisco Beuf (1834-1889) nació en Francia, el 21 de mayo de 1834. Ingresó en la Escuela Naval Militar de Brest (Finisterre, en 1851), luchó en la Guerra de Crimea, la liberación de Lombardía (Italia, 1859) y formó parte de la expedición francesa a México (1864). Fue director del Observatorio Marítimo de Toulon, puesto que dejó en 1881 para emigrar a la República Argentina y desempeñarse como director de la nueva Escuela Naval y Oficina Hidrográfica. El 10 de octubre de 1883 fue designado primer director del OALP. Representó a la Argentina en el primer Congreso Astrográfico, realizado en París en 1887. Fue corresponsal del Bureau de Longitudes y publicó en revistas especializadas; “Les Occultations des étoiles par la lune”, junto a E. Perrín, y un Curso de Geodesia y Topografía (1886). El 16 de marzo de 1887 publicó el Anuario del Observatorio, el primero de su tipo en el país, a los que siguieron los correspondientes números, entre los años 1888 y 1892 (Raffinetti, 1900). Sus restos fueron inhumados en el Cementerio de la Recoleta.

3 Extraído del relato de E. Perrin, 1882.



Figura 6. Casilla de Observación en Bragado (izquierda) y pequeño ecuatorial Gautier (derecha).

En octubre de 1882, se aprobó la Ley 1579 que ordenaba al Departamento de Ingeniería a realizar los planos y elaborar un presupuesto para la construcción de varios edificios públicos que explícitamente incluía un Observatorio Astronómico. La fundación del Observatorio Astronómico de La Plata se inicia con la colocación de la piedra fundamental, el 22 de noviembre de 1882 (tres días después de la fundación de la Ciudad). Un año después, el 22 de noviembre de 1883, el Tte. Francisco Beuf fue designado director de las obras del observatorio y de la adquisición de nuevos instrumentos para su óptimo funcionamiento.

Para albergar los primeros instrumentos (el telescopio Gautier de 21,6 cm y el círculo meridiano portátil) en 1885, se reconstruyeron las casillas de madera de la misión de Bragado hasta concluir con la obra del edificio que albergaría al denominado “Pequeño Ecuatorial Gautier (1885-1886)” y otros instrumentos (Hussey et al. 1914). En 1942, el pequeño Gautier fue cedido a la Asociación Argentina de Amigos de La Astronomía, con sede en el Parque Centenario, de la ciudad de Buenos Aires [Fig. 7].



Figura 7. Telescopio pequeño ecuatorial. Izquierda, interior del edificio del pequeño ecuatorial. Derecha, interior de la cúpula del Observatorio de Parque Centenario (CABA).

En 1884, se adquieren dos anteojos cenitales, tres cronómetros y tres cronógrafos para usarlos en la determinación de las coordenadas geográficas de cincuenta puntos principales dentro de la Provincia (Hussey et al. 1914). El 8 de abril de 1886, se encarga la compra de un telescopio reflector Gautier de 830 mm [Fig. 8 izquierda] con montura ecuatorial –hoy denominado Virpi Niëmela (1936–2006) en honor a la gran astrónoma graduada en la UNLP–. En 1932, el sistema óptico Newton original es reemplazado por un Cassegrain. Este telescopio estuvo en óptimas condiciones de funcionamiento alrededor de 1954 y, en 1963, se actualiza su equipamiento con la instalación de un fotómetro fotoeléctrico registrador, dando lugar a numerosos trabajos de alto impacto.

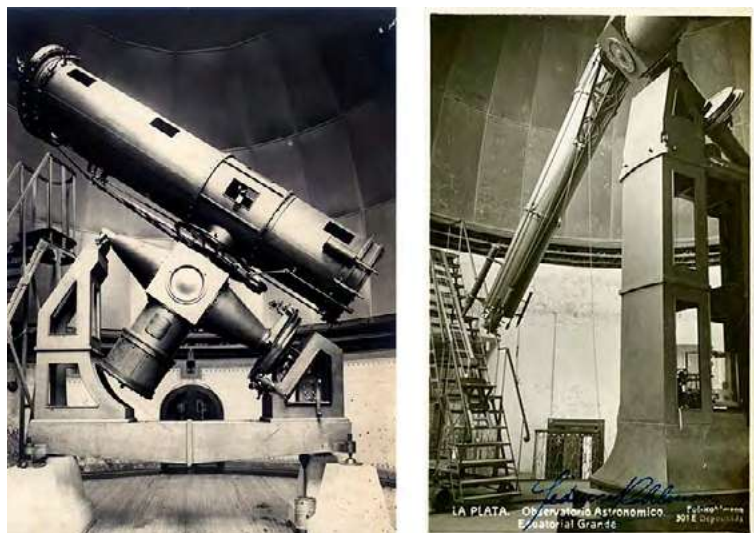


Figura 8. Izquierda: Telescopio Reflector “Virpi Niemela”. Derecha: Gran Ecuatorial (Postal N° 391) firmada por Federico Kohlmann. Año: 1923. Extraída de la Biblioteca Nacional de la República Argentina.

Aproximadamente un año después de la compra del gran telescopio reflector, el 4 de mayo de 1887, se autorizó la adquisición de un telescopio refractor Gautier de 433 mm de apertura y 9,6 m de distancia focal (hoy conocido como Gran Ecuatorial, Fig. 8 derecha) y un círculo meridiano de 213 mm de apertura y distancia focal de 2,80 m [Fig. 9, izquierda]. El Gran Ecuatorial fue instalado en La Plata en 1894 y fue realmente una innovación para la época, siendo uno de los telescopios más grande del hemisferio sur. Su apertura es comparable con el Refractor de 31 cm de Grubb de Dublín (1879), el Refractor Gautier de 38 cm Lunette de Arago; del Observatorio de París (1883), el Gautier de 40 cm del Observatorio Nacional de Atenas (1901) y el Telescopio Revestido de 50 cm de Estrasburgo (1880), que fue el más grande del Imperio alemán y Europa (ver también Giménez Benítez y Cidale 2023, Wolfschmidt, 2016). Este instrumento fue empleado para la observación de cometas y estrellas dobles.

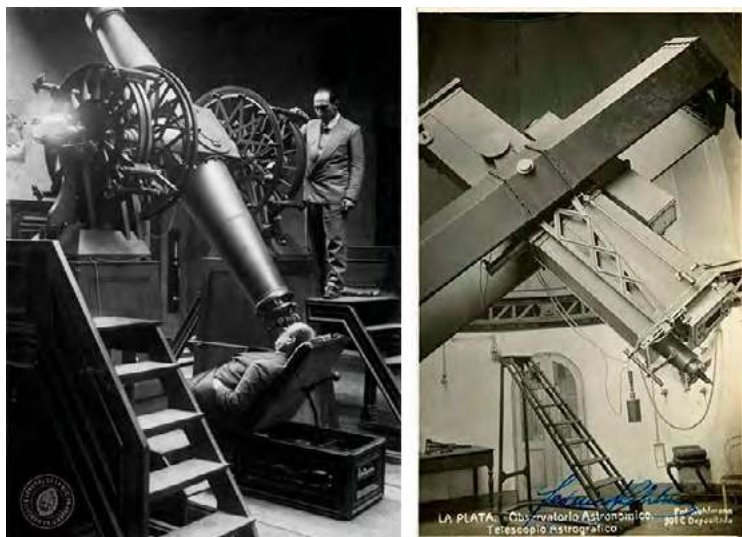


Figura 9. Izquierda: Círculo Meridiano Gautier. Archivo Gral. de la Nación, ca. 1930. Derecha: Telescopio Astrográfico. Postal Kohlmann No 391 C "La Plata. Observatorio Astronómico. Año: 1923 Biblioteca Nacional de la República Argentina.

El gran Círculo Meridiano Gautier fue también diseñado con la idea de que fuera uno de los mejores y más grandes instrumentos de su clase en el mundo, por lo que fue expuesto en la Exposición Universal de París de 1889. Este instrumento, que realizó una gran labor astrométrica, se desmontó en 1938 y fue reemplazado por el círculo Meridiano Repsol adquirido en 1906 (muy similar al círculo Meridiano Repsol del Observatorio de Córdoba).

Igualmente importante fue la adquisición del telescopio astrográfico destinado a preparar el gran catálogo de estrellas y primer mapa fotográfico del cielo "*Carte du Ciel*". Para el registro del mapa del cielo se constituyó un consorcio de 20 observatorios que utilizarían telescopios astrográficos análogos al de París (330 mm de apertura y 3,40 mts de distancia focal), cuya óptica fue desarrollada por los hermanos Henry [Fig. 9, derecha]. La Plata tomó a cargo la zona del cielo austral comprendida entre los paralelos -24° y -31° . Lamentablemente, el proyecto no pudo realizarse como

consecuencia de la fuerte crisis financiera que atravesó la Argentina en 1890 y a la rotura accidental de la óptica del telescopio que no pudo reemplazarse a tiempo. El OALP cedió entonces su sector al Observatorio de Córdoba para que realizase la tarea. La óptica del telescopio pudo ser reemplazada en 1913 por un objetivo Carl Zeiss, obteniendo así las primeras fotografías. Este telescopio permitió el descubrimiento de 23 asteroides.

La constitución y consolidación del Observatorio Astronómico de La Plata, así como la adquisición de los instrumentos necesarios (de origen francés) para su funcionamiento, se debe en gran medida a la labor del mencionado Francisco Beuf y su amistad con el director del Observatorio de París, Almirante Mouchez. Siendo aún director del Observatorio Astronómico de La Plata, F. Beuf falleció en la ciudad de Buenos Aires el 26 de agosto de 1899. Desafortunadamente, muchos de sus proyectos científicos no pudieron llevarse adelante por causa de la gran crisis financiera de 1890. Quince años después, con la creación de la Universidad Nacional de La Plata (1905), el OALP pudo concluir las obras edilicias pendientes e iniciar otras nuevas obras, realizar la compra de nuevo equipamiento astronómico y geofísico (principalmente de origen alemán), encomendar la reparación de algunos de sus instrumentos originales y comenzar a utilizarlos en forma sistemática. Entre los instrumentos más relevantes, adquiridos a principios del siglo XX, podemos citar el buscador de cometas Zeiss, el círculo Meridiano Repsol, el telescopio Zenital de Wanschaff para hacer observaciones de latitud, relojes siderales y los principales sis-mógrafos.

IV. Los edificios

El proyecto original de los edificios estuvo condicionado por las heterogéneas características técnico-funcionales específicas de cada uno, dejando un escaso margen para un historicismo apenas alimentado por la idealizada estética de bastiones, torretas y almenares de las principales edificaciones.

Alrededor de 1914, ya todo el conjunto constaba de una veintena de obras [Fig. 10 y 11], la mayoría concebida con la idea de contener un solo instrumento; las plantas circulares y las cúpulas metálicas giratorias con compuertas deslizables por donde se realizan las observaciones, hacen de los pabellones mitad edificio, mitad máquina.



Figura 10. Vista aérea del Observatorio Astronómico de La Plata.

Contrasta con este heterogéneo paisaje, el edificio principal [Fig. 12], cuya construcción se ordenó el 19 de julio de 1886 para la residencia del director, oficinas y una gran biblioteca [Fig. 13]. Fue concebido como un pequeño palacio renacentista de una sola planta, patio central y una *loggia* (definida originalmente como acceso principal) y las pequeñas viviendas para astrónomos y visitantes: guardando cierta similitud con los “palacios” públicos, mientras que el resto del conjunto es verdaderamente atípico dentro del paisaje fundacional de la ciudad.



Figura 11. Vista del conjunto de edificios. De derecha a izquierda, edificio principal, Gran Ecuatorial, edificio del Reflector, edificio Meridiano y casilla de observación meteorológica.



Figura 12. Vista del edificio principal, vista norte (arriba) y vista sur (abajo). Archivo del Museo de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas.



Figura 13. Biblioteca del edificio principal.

Del conjunto OALP, se destaca el edificio del telescopio Gran Ecuatorial [Fig. 14, nombrado Edificio Dawson], concluido en 1895. Originalmente, su riqueza formal (potenciada por una variedad ornamental, dominada por motivos geométricos, de texturas y paletas cromáticas) brindaba a la obra un carácter pintoresquista asociado, además, con su inmersión en la fronda del Bosque. Es la obra de mayor porte y complejidad formal del conjunto, ya que al cilindro principal que genera la sala de observación, se suman volúmenes menores que a manera de torres y bastiones estaba en sintonía con la arquitectura militar decimonónica, inspirada a su vez en fortificaciones de “traza italiana”, orientación desarrollada en Italia a partir del siglo XV. A partir de posteriores intervenciones, se revocaron los planos de ladrillo a la vista (presumiblemente, para neutralizar filtraciones hidrófugas) y se unificó con pintura de una sola tonalidad toda la mampostería de la obra. El edificio cuenta con aberturas para puertas y ventanas rematadas con arcos de medio punto (con adovelado aparente superior) en el basamento correspondiente a la planta baja del edificio, mientras las aberturas superiores se resuelven con dintel recto.



Figura 14. Edificio Gran Ecuatorial (frente). Al fondo se observa el pabellón del reflector de 80 cm [Fig. 16]. Foto firmada por Federico Kohlmann, extraída de la Biblioteca Nacional de la República Argentina.

Como referente de la cúpula del Gran Ecuatorial se encuentra la del *Observatoire de la Cote d'Azur*⁴ [Niza, Francia, Fig. 15, izquierda], inaugurado en 1879 (un lustro antes de iniciarse las obras del de La Plata), diseñado por Gustave Eiffel junto con Charles Garnier. Particularmente, la cúpula del telescopio Gran Ecuatorial Gautier cuenta con la aplicación del gran flotador anular, sistema diseñado por G. Eiffel [Fig. 15, derecha].

No menos imponente es el pabellón del telescopio reflector de 80 cm “Virpi Niémela” [Fig. 16]. Se trata de otra obra emblemática del antiguo Instituto del Observatorio, tanto por su configuración arquitectónica y dimensiones, como por su ubicación dentro del conjunto. Su composición parte de una planta circular que se expresa en un gran podio al cual se ac-

4 Esta institución fue pionera en investigaciones en astrofísica y geociencias. Con referencias a las arquitecturas egipcia y griega, y una cúpula de 92 toneladas, albergó uno de los telescopios refractores más grandes del mundo (760 mm de apertura).

cede desde una escalera que aumenta progresivamente la longitud de sus escalones de mármol de Carrara a medida que desciende al parque desde la amplia circulación que rodea el cilindro de mampostería ciega que soporta la cúpula. Una gran abertura con arco de medio punto y puerta de celosías de madera (en armonía con la mayoría de las carpinterías del conjunto) da acceso a la gran sala, con piso de tablas de madera flotante sobre tirantería, donde se aloja el telescopio.

Por debajo (planta baja concebida como sótano) el espacio se conforma a partir de la planta circular correspondiente a la base del cilindro central horadado por aberturas con arcos de medio punto que permiten una comunicación fluida con el anillo circulatorio que se desarrolla en correspondencia con la terraza que (a manera de balcón mirador) se desarrolla perimetralmente a una altura de 2,60 metros sobre el terreno. Al estar despojado de todo revestimiento se advierte el sistema constructivo ya mencionado: muros de mampostería y bovedillas de ladrillos sobre perfiles normales “I” de acero laminado.



Figura 15. Izquierda: Observatorio de la Cote d’Azur, inaugurado en 1879. Derecha arriba: Cúpula del gran ecuatorial de Niza; Sr. Charles Garnier arquitecto, constructor y MG G. Eiffel; aplicación del flotador anular, sistema G. Eiffel, patentado SGDG. Derecha abajo: Sección longitudinal; elevación con la trampilla de observación abierta; sección del flotador y el tanque (título original). Biblioteca Digital - Observatorio de París: <https://bibnum.obspm.fr/ark:/11287/2PxMb>.



Figura 16. Pabellón del telescopio reflector Gautier de 80 cm de diámetro (hoy nombrado Virpi Niëmela. A la izquierda, el “Buscador de cometas”. Se observa la balastrada perimetral, posteriormente eliminada (Museo de Astronomía y Geofísica, FCAG-UNLP).

Por su parte, el edificio del Gran Círculo Meridiano Gautier [Fig. 17] cuenta con un bloque principal que aparenta estar desagregado en dos, debido a la “raja” continua que recorre el muro de las fachadas más extensas (en dirección norte y sur) hasta casi la altura de los antepechos de las ventanas y se insinúa sobre la cubierta plana con una cupertina, a dos aguas que se deslizaba a efectos de permitir la observación con el Círculo Meridiano Gautier, que da su nombre. A pesar de su mediano porte, la obra se destaca del resto por la articulación de sus planos de fachada y por la profusión ornamental. Originalmente, el recinto de observación contó con luces y ventiladores para refrescarlo.



Figura 17. Edificio Gran Círculo Meridiano Gautier (Museo de Astronomía y Geofísica, FCAG-UNLP).

Otro caso singular lo constituye el pabellón del Pequeño Ecuatorial y círculo meridiano portátil (1885-1886). Fue el primer edificio [Fig. 18] que se construyó en el OALP para albergar (como se dijo) los primitivos instrumentos, uno de ellos empleados en la campaña de Bragado. Si bien más austero que el edificio del Círculo Meridiano Gautier, su sobreelevación respecto al terreno natural provoca extensas escaleras de un solo tramo con escalones de mármol de Carrara y con balaustradas clásicas que conducen a sendos pórticos con dintel recto; uno dispuesto sobre el lado menor y otro (asimétricamente) articulando el volumen cilíndrico con el prisma principal. En el alto podio se presentaban óculos circulares rítmicamente dispuestos en el centro de los módulos definidos por dobles pilastras corintias; más tarde serían reemplazados por las aberturas rectangulares (que hoy día se advierten) a efectos de iluminar los refuncionalizados subsuelos.

Durante la década de 1920, se realizaron sucesivas intervenciones en la parte central del edificio con el fin de convertirlo en vivienda. Veinte años después se eliminaron la abertura central y las balaustradas de las

ventanas; presumiblemente a fin de *aggiornarla*, según una lamentable práctica corriente por esos años que consistía en eliminar componentes ornamentales originales, que denominamos “planchado” de las fachadas.



Figura 18. Fachada original del Edificio del Pequeño ecuatorial y Círculo meridiano. Ca. 1910. Museo de Astronomía y Geofísica, FCAG-UNLP (Museo de Astronomía y Geofísica, FCAG-UNLP).

Finalmente, destacamos la otra singularidad como lo es el cobertizo del Telescopio Wanschaff, adquirido con el propósito de contribuir al seguimiento de movimiento del polo y medición de rotación de la Tierra. El instrumento fue comprado en 1908 para equipar el Observatorio de Onativo, propiedad de la Asociación Geodésica Internacional. Al terminarse las observaciones en 1913, los instrumentos fueron destinados al observatorio platense. El telescopio Wanschaff se instaló en mayo de ese año en una de las dos casillas adquiridas en 1908, ubicada al sur del pabellón del Círculo Meridiano, donde aún se encuentra [Fig. 19]. Se trata de un singular “artefacto arquitectónico” conformado por una cabina de madera colocada sobre una plataforma cuadrada de 3,2 metros de lado y separada de su base de cemento alisado por tirantes de madera dispuestos en ambos sentidos. Cuenta con paredes dobles de madera, con espacio entre ellas para permitir la circulación de aire, siendo los paneles externos de celosías de tablas anchas; uno de cuyos tres módulos del lado de mayor longitud es, en rigor, la puerta de acceso. Por su parte, la cubierta a dos aguas revestida con chapas lisas de zinc y con cuatro ventilaciones consta de dos partes

que se deslizan en dirección norte-sur sobre rieles (planchuelas metálicas sobre madera) extendiéndose más allá del límite de los paneles de cierre del edificio y dejando libre el centro a fin de proceder a la observación con el telescopio y alcanzando una separación de 2,1 metros.



Figura 19. Izquierda: Ubicación del refugio (a la izquierda), al fondo se destaca el pabellón del círculo meridiano y a la derecha se ve parte del pabellón de sismógrafos. Foto extraída de Hussey et al. (1914). Derecha: Refugio del Telescopio Wanschaff (Archivo Técnico Administrativo Nacional de Arquitectura/Distrito Centro. Gentileza Oscar Herminio Herrera Gregorat).

Si bien con una materialidad distinta, estas casillas tienen (por sus proporciones y composición) una clara similitud con el pabellón del pequeño meridiano Durandelle del Observatorio de Niza [Fig. 20], proyectado por Louis-Émile (1839-1917).⁵ Por último, cabe señalar que se encuentra en desarrollo un Plan integral de conservación, restauración e intervención del Conjunto Observatorio Astronómico UNLP, cuya primera etapa comprendió la realización del pliego licitatorio del pabellón del telescopio reflector de 80 cm “Virpi Niemela” [Fig. 21].

5 Recuperado de: Biblioteca Digital - Observatorio de París; <https://bibnum.obspm.fr/ark:/11287/3dTHX>



Figura 20. Pabellón del pequeño meridiano Durandelle,
Observatorio de Niza.

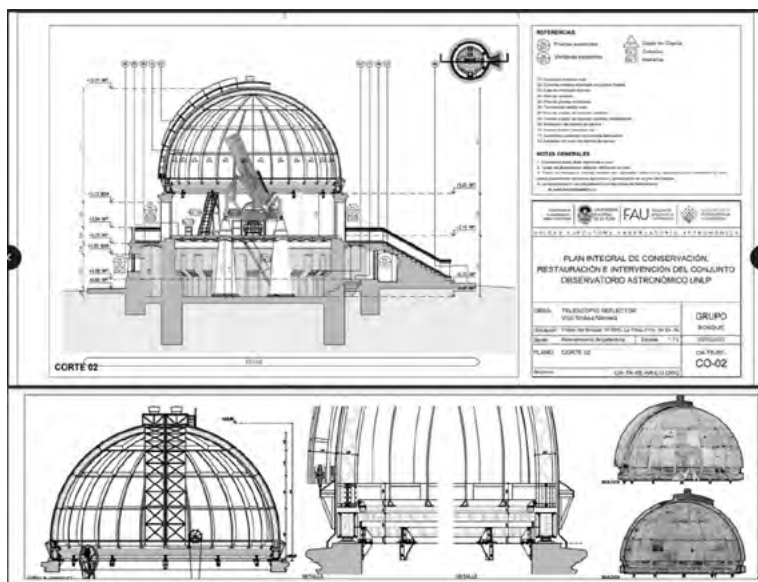


Figura 21. Plan integral de conservación del pabellón del telescopio Reflector. Planos de relevamiento. A. Ottavianelli, coordinadora:
Plan integral de restauración OALP, 2023.

V. Conclusiones

Desde su creación, en 1883, el Observatorio mostró una clara transición de la astronomía clásica a la astronomía moderna. Su historia, arquitectura y resultados científicos fueron y son de un gran valor universal. Ha tenido un papel sobresaliente en la enseñanza de la astronomía en el país y en América Latina, generando profesionales e impulsando el intercambio de conocimiento en todo el mundo. Su historia y valores son la memoria de nuestra sociedad y el legado a nuestras futuras generaciones. En este contexto, en reunión plenaria de la Comisión Nacional de Monumentos, de Lugares y de Bienes Históricos fue aprobada la propuesta de declaración del Conjunto Observatorio Astronómico de La Plata como Monumento Histórico Nacional. La misma se encuentra a la firma del Poder Ejecutivo de la Nación.

Referencias

- Giménez Benítez, S. R. y Cidale, L. S. (2023). *Astronomía y patrimonio mundial: proyecto para nominar al Observatorio de La Plata a la lista tentativa de UNESCO*. Boletín de la Asociación Argentina de Astronomía. Edited by R.D. Rohrmann, C.H. Mandrini, C.E. Boeris and M.A. Sgró. Vol. 64, pp. 310-316
- Hussey, W. J., Delavan, P. T., y Dawson, B.H. (1914). *Descripción general del Observatorio, su posición geográfica, y observaciones de cometas y de estrellas dobles*. Publicaciones del Observatorio Astronómico; tomo 1., La Plata: Observatorio Astronómico 1914, p. I.
- Igarreta, A. (2006). *Civilization and Barbarianism: When Barbarianism Builds Cities*. International Journal of Historical Archaeology. Vol. 9, no 3: pp. 165-176. Springer Science. Nueva York.
- Milesi, G. E. y Vázquez, R. A. (2022). *Búsqueda de los sitios de observación del tránsito de Venus de 1882 en Territorio argentino. IV. Santa Cruz*. Boletín de la Asociación Argentina de Astronomía, Vol. 63, pp. 333-335.

- Milesi, G. E. y Vázquez, R. A. (2020). *Búsqueda de los sitios de observación del tránsito de Venus de 1882 en territorio argentino: III. Carmen de Patagones*. Boletín de la Asociación Argentina de Astronomía, Vol. 61B, pp. 239-241.
- Milesi, G. E. y Vázquez, R. A. (2013). *Búsqueda de los sitios de observación del tránsito de Venus de 1882 en territorio argentino. II. Bahía Blanca*. Boletín de la Asociación Argentina de Astronomía, vol. 56, pp. 467- 470.
- Raffinetti, V., (1900). *Francisco Beuf. Su Fallecimiento*. Anuario del Observatorio de La Plata para el año 1900, prefacio, p 1.
- Vázquez, R. A. y Milesi, G. E. (2012). *Búsqueda de los sitios de observación del tránsito de Venus de 1882 en territorio argentino. I. Bragado*. Boletín de la Asociación Argentina de Astronomía, Vol. 55, pp. 513-517
- Wolfschmidt G. (2016). *Route of astronomical observatories" project: Classical observatories from the Renaissance to the rise of astrophysics*. Astronomy in Focus, as presented at the IAU XXIX General Assembly, 2015. Proceedings of the IAU, Vol. 29A, 2016, pp. 124-128.



La Búsqueda de una Inteligencia Extraterrestre, Inteligencia Artificial y Noosfera

José G. Funes*

Resumen

Se analiza cómo el avance de la Inteligencia Artificial (IA) y su integración en la noosfera podría potencialmente ampliar nuestras capacidades de comprensión y comunicación, sugiriendo que la IA puede ser una manifestación contemporánea de la evolución de la noosfera.

Teniendo en cuenta el desafío multidisciplinar que el descubrimiento de exoplanetas plantea, se sugiere que una tecnología avanzada de una inteligencia extraterrestre (ETI) podría ser indistinguible de los fenómenos naturales, lo que plantea desafíos significativos para su identificación.

También, se considera un experimento mental inspirado en la película *2001 Odisea del Espacio*, donde se contempla el contacto con una forma de IA extraterrestre avanzada como analogía para discutir posibles encuentros futuros con una ETI. Este enfoque especulativo ayuda a ilustrar las implicaciones filosóficas y tecnológicas de tal encuentro, destacando la necesidad de reevaluar nuestras categorías epistemológicas en preparación para un posible “primer contacto”.

Palabras clave: Inteligencia Extraterrestre (ETI), Inteligencia Artificial (IA), Noosfera, Exoplanetas, marcadores tecnológicos.

Abstract

The author discusses how the advancement of Artificial Intelligence (AI) and its integration into the noosphere could potentially expand our understanding and communication capabilities, suggesting that AI may be a contemporary manifestation of the evolution of the noosphere.

Taking into account the multidisciplinary challenge that the discovery of exoplanets poses, it is suggested that advanced technology designed

* CONICET- Universidad Católica de Córdoba (UCC)

by an extraterrestrial intelligence (ETI) could be indistinguishable from natural phenomena, creating significant challenges for its identification.

Also, the author analyzes a thought experiment inspired by the film *2001 A Space Odyssey*, where a contact with a form of advanced extraterrestrial AI is contemplated as an analogy to discuss possible future encounters with an ETI. This speculative approach helps to illustrate the philosophical and technological implications of such an encounter, highlighting the need to reevaluate our epistemological categories in preparation for a possible “first contact.”

Keywords: Extraterrestrial Intelligence (ETI), Artificial Intelligence (AI), Noosphere Exoplanets, Techno signatures.

I. Desafíos que plantea el estudio de exoplanetas

Hasta donde sabemos, el escenario imprescindible para el surgimiento de vida inteligente implica la existencia exoplanetas, siendo la Tierra el único planeta conocido que alberga la vida tal como la conocemos. El universo ha necesitado cerca de 10 mil millones de años para que surgiera el *Homo sapiens*. Diversos procesos y condiciones físicas deben confluír para que la vida sea viable. En diferentes partes del universo, una combinación única de factores podría conducir a la aparición de una Inteligencia Extraterrestre (ETI, por sus siglas en inglés). Parece razonable entonces concluir que, independientemente de las particularidades, la evolución de la vida inteligente es un proceso prolongado.

Para buscar una ETI necesitamos explorar las condiciones de habitabilidad de un sistema estelar determinado. A partir de los estudios de ambientes terrestres extremos estamos redefiniendo el significado de habitabilidad planetaria. Así los planetas y las lunas fuera de la zona habitable del Sol aún podrían poseer condiciones debajo de sus superficies capaces de sustentar la vida (Cabrol, 2023).

Howell (2020) señala la naturaleza expansiva de la investigación de exoplanetas ilustrando cómo ésta trasciende los límites científicos tradicionales para involucrar a múltiples disciplinas. De hecho, el estudio de los exoplanetas no es solo cuestión de astrónomos; es un terreno fértil para la colaboración entre diversos campos científicos incluyendo biología, geología y física. Este enfoque interdisciplinario es crucial para enten-

der los factores complejos que caracterizan a los exoplanetas. A estas disciplinas que conforman la investigación astrobiológica deberíamos sumar el enorme progreso científico y tecnológico que involucra el desarrollo de la Inteligencia Artificial (IA). Además, Howell señala la participación de la filosofía y la religión, lo cual abre el juego a más dimensiones en la discusión. Estos campos contribuyen a explorar preguntas fundamentales sobre el universo, como las probabilidades de vida en otros lugares, y qué significarían tales descubrimientos para nuestra comprensión de la existencia. En esta línea de investigación publicamos un estudio interdisciplinar sobre el tema (Funes et al., 2023).

En este contexto, me interesa enmarcar el tema de la IA dentro del enfoque de la *Big History*¹. Este tipo de estudios examina la historia desde el comienzo del Universo abarcando el origen y evolución de galaxias, estrellas, planetas, de la vida misma, así como el surgimiento y la evolución de los seres humanos hasta el presente. Se trata pues de una perspectiva multidisciplinaria que incluye las ciencias naturales y sociales en el amplio contexto cósmico. Esta Gran Historia, como no podría ser de otro modo, casi inevitablemente, resulta bastante terrícola-céntrica, porque está orientada a *Homo sapiens* que es su cronista (Funes, 2023). Este enfoque interdisciplinario proporciona una visión holística de cómo los sistemas evolucionan con el tiempo, destacando patrones de creciente complejidad y conectividad. En perspectiva cósmica, la IA se presenta entonces como el siguiente paso en el complejo proceso que expresa la síntesis de la inteligencia de *Homo sapiens* y su capacidad tecnológica para superar las limitaciones cognitivas humanas marcando una nueva era en la historia cósmica.

¹ El término Big History es atribuido a David Christian y su curso de Gran Historia capturó la atención filantrópica de Bill Gates dando origen al proyecto *Big History*. En relación con el tema de la *Big History*, se puede ver: W. Alvarez, *El viaje más improbable*, 2017; S. Carroll, *The Big Picture*, 2016; D. Christian, *Maps of time, An Introduction to Big History*, 2011; J. Hands, *Cosmo Sapiens, Human Evolution from the Origin of the Universe*, 2015; F. Spiers, *Big History and the future of humanity*, 2015.

II. La Noosfera como clave interpretativa de la evolución posbiológica

Podríamos entonces considerar la IA como una manifestación de la evolución de la noosfera tal como la entendió Teilhard de Chardin. La integración que hace Teilhard de los fenómenos geobiológicos con perspectivas filosóficas y espirituales dio como resultado la noción de una “esfera del pensamiento humano” (la noosfera) como la siguiente etapa evolutiva de la biosfera, y la expansión definitiva de la conciencia hacia la galaxia (Funes et al., 2019).

Debido a los límites de este trabajo, aquí solo señalo que la noosfera puede servir como modelo teórico para interpretar la evolución de la inteligencia humana más allá de las limitaciones biológicas y las implicaciones de la integración de la IA en la noosfera.

Al tratar de articular una respuesta sobre el proceso evolutivo hacia una inteligencia postbiológica, recurro a Teilhard de Chardin para pensar la evolución cósmica, biológica, social y tecnológica o artificial. Su concepto de noosfera se puede aplicar a una especie de conciencia universal que la humanidad ha alcanzado con fatiga. La noosfera también comprende una esfera de pensamiento ético y religioso. La IA puede verse hoy como una manifestación de la noosfera y es un paso sucesivo en el proceso evolutivo postbiológico.

Teilhard consideró toda la evolución de la vida y no se centró solo en un mecanismo particular que impulse la evolución biológica (Deacon 2023). Como señala Deacon, para Teilhard los humanos son únicos en el sentido de que son capaces de comunicarse y compartir sus pensamientos. Además, Deacon observa que nuestros mundos mentales están siendo modificados exponencialmente por los medios electrónicos y las prótesis computacionales. En este sentido, el *Homo sapiens* se ha convertido en *Homo cyberneticus* si entendemos *cyberneticus* como *cyborg*, es decir, seres humanos con sistemas y dispositivos externos que pueden restaurar y mejorar sus capacidades.

III. Marcadores tecnológicos

Hace décadas que en el contexto de la búsqueda de vida extraterrestre inteligente (SETI por sus siglas en inglés) se analiza seriamente el aspecto tecnológico de esta investigación. El astrofísico Nikolái Kardashev propu-



so un método para medir el grado de evolución tecnológica de una civilización estableciendo una escala. Kardashev (1964) sugirió tres categorías. En términos generales, una civilización de Tipo I ha logrado el dominio de los recursos de su planeta de origen, Tipo II de su estrella, y Tipo III de su galaxia. Ivanov et al. (2020) plantean una nueva clasificación de las civilizaciones extraterrestres basada en su nivel de interacción e integración con el entorno. Estos autores afirman que la integración de las civilizaciones extraterrestres con el medio ambiente haría imposible distinguir los marcadores tecnológicos de los fenómenos naturales y sugieren que la única esperanza para futuros programas SETI es buscar balizas. En este sentido, una pregunta filosófica que subyace en todos los estudios SETI es cómo discernir entre una señal u objeto natural de otro artificial. Un ejemplo de la importancia de la cuestión lo ofrece el debate sobre la naturaleza del objeto denominado *Oumuamua* que podría cambiar nuestra comprensión y detección de civilizaciones extraterrestres. Éste es el primer cuerpo observado de origen interestelar en nuestro Sistema Solar. Bialy y Loeb (2018) consideran un posible origen artificial para dar cuenta de las propiedades físicas observadas. Según estos autores, *Oumuamua* podría ser una sonda completamente operativa enviada intencionalmente a la vecindad de la Tierra por una civilización alienígena. ¿Se trata *Oumuamua* de un objeto natural o artificial?

Tarter (2007) escribe: “Si podemos encontrar marcadores tecnológicos (en inglés technosignatures) evidencia de alguna tecnología que modifica su entorno de manera detectable- entonces se nos permitirá inferir la existencia, al menos en algún momento, de tecnólogos inteligentes”². En 2018 en Houston, Texas, la NASA dedicó una reunión científica al tema de la búsqueda de marcadores tecnológicos. En el informe final de este encuentro, entre otros objetivos, se señala comprender los avances a corto plazo en el campo de los marcadores tecnológicos teniendo en cuenta las nuevas investigaciones, nuevos instrumentos, nuevos algoritmos de extracción de datos, nuevas teorías y modelos, etc.

2 En Wright, J. (2018). *NASA and the Search for Technosignatures A Report from the NASA, Technosignatures. Workshop*, Noviembre 28, 2018. arXiv:1812.08681 doi: 10.48550/arXiv.1812.08681.

IV. Un experimento mental. *First contact*.

Considerando el desarrollo acelerado de la IA en los últimos años, no sería extraño que pudiéramos enfrentar la necesidad de descifrar un mensaje o dispositivo enviados desde un mundo lejanísimo por una ETI. Un ejemplo de un artefacto llegando de otro sistema estelar podría representarlo una sonda semejante a nuestra *Voyager 1*. Recientemente la revista *Scientific American* reporta que los científicos de la NASA lograron restablecer comunicación con la nave espacial *Voyager 1*. La *Voyager 1* se lanzó en 1977, pasó rápidamente por Júpiter y Saturno en tan solo unos años y desde entonces se ha alejado cada vez más del Sol; la nave cruzó al espacio interestelar en 2012³.

Inspirado por la película *2001 Odisea del espacio*, propongo el siguiente experimento mental para describir la situación actual teniendo en cuenta los avances más recientes de la IA. Supongamos que encontramos en el espacio exterior una caja negra (una *Voyager 1*) con capacidades emergentes. Así se describen los poderosos sistemas de IA en la carta abierta del 22 de marzo de 2023 que proponía detener los experimentos gigantes de IA⁴.

Siguiendo la trama de la película de ciencia ficción de Arthur C. Clark y Stanley Kubrick, llamo a esta caja negra HAL 9000. No sé cómo funciona, pero quiero determinar si algunas de sus capacidades corresponden a algunos de los marcadores intelectuales que describimos en Funes et al. (2019). En ese escrito, utilizamos la analogía de los biomarcadores planetarios (que pueden revelar la existencia de una biosfera) para definir y buscar firmas espirituales que pudieran evidenciar la presencia de una noosfera en otros planetas.

Mientras los programas SETI buscan nuevas formas de decodificar mensajes utilizando marcadores universales, propongo incluir algunos de aquellos marcadores intelectuales imaginando lo que podría ser un *First Contact* con HAL 9000, producto de una ETI que ha desarrollado capacidades tecnológicas avanzadas.

Teniendo en cuenta los límites de este trabajo no abordaré el concepto de inteligencia y también evito explícitamente discutir si el desarrollo actual de la IA ha logrado lo que se conoce como Inteligencia General Ar-

3 <https://www.scientificamerican.com/article/after-months-of-gibberish-voyager-1-is-communicating-well-again/>

4 <https://futureoflife.org/open-letter/pause-giant-ai-experiments/>

tificial (IGA). Sébastien Bubeck et al. (2023) de *Microsoft Research* afirman que han encontrado chispas de IGA al realizar experimentos con GPT-4. Estos autores discuten las crecientes capacidades e implicaciones de estos modelos. Demuestran que, más allá de su dominio del lenguaje, GPT-4 puede resolver tareas novedosas y difíciles que abarcan matemáticas, codificación, visión, medicina, derecho, psicología y más, sin necesidad de indicaciones especiales. Entiendo que esta afirmación puede ser controvertida y tal vez no sea aceptada por todos en la comunidad académica.

Por tanto, para el propósito de este escrito, asumo la siguiente noción de inteligencia proporcionada por Scholar AI⁵ al *prompt*: “Dar una definición de Inteligencia”:

“La inteligencia es un concepto amplio que generalmente se refiere a la capacidad de comprender y aprender información, aplicar conocimientos y habilidades para adaptarse a nuevas situaciones, resolver problemas, y razonar de manera lógica. Abarca varias habilidades cognitivas, incluyendo el pensamiento abstracto, la comprensión, la comunicación, el razonamiento, el aprendizaje, la planificación, la resolución de problemas y la percepción. La inteligencia puede ser medida a través de pruebas de cociente intelectual (IQ) y puede manifestarse de diversas maneras en diferentes campos, como la inteligencia emocional, la inteligencia lógico-matemática, la inteligencia verbal, entre otras”.

En este punto quiero dejar en claro que hasta donde llega mi comprensión, no creo que la IA haya mostrado evidencias de una autoconsciencia. En segundo lugar, debemos evitar antropomorfismos y antropocentrismos cuando enfrentamos los desafíos que plantea la IA. En este sentido, la investigación SETI puede ayudarnos a flexibilizar nuestras categorías científicas y filosóficas cuando discutimos los desarrollos de la IA. Como señalan Funes et al. (2023), ante un potencial primer contacto con una civilización extraterrestre, deberíamos repensar categorías más flexibles para acercarnos a una ETI y poder apreciar mejor su realidad. De manera similar, podríamos reconsiderar las categorías científicas y filosóficas que nos permitan comprender mejor la IA y todos sus desafíos, de modo que

⁵ En este escrito me he servido de Scholar AI (<https://scholarai.io/>), un complemento de ChatGPT que utiliza inteligencia artificial para encontrar artículos relevantes y generar respuestas y textos.

podamos tener un marco más flexible para interpretar un posible primer contacto con una IGA. De hecho, *First Contact* fue el título de la charla que Sebastian Bubeck dio en la University of California Berkeley en 2023 sobre los experimentos que el equipo de *Microsoft* realizó con GPT-4.

En Funes et al. (2019), consideramos que los seres espirituales son aquellos no solo capaces de procesar información sino sujetos autoconscientes, capaces de pensamiento abstracto y lenguaje conceptual, con capacidad de trascender la realidad material. También proponemos trece características adecuadas para describir un ser espiritual. A continuación, comentaré alguno de estos rasgos que corresponden a la noción de inteligencia que he adoptado y verificaré si podemos aplicarlos a nuestra caja negra llamada HAL 9000. El siguiente análisis puede parecer contradictorio con lo que apenas he afirmado más arriba acerca de la necesidad de evitar antropomorfismos, sin embargo, por el momento éstas son las herramientas provisorias para poder enfrentar este experimento mental ante la posibilidad de un *primer contacto*. Se debería considerar la siguiente discusión sólo como un ensayo al enfrentar el desafío de encontrarnos con una inteligencia no humana y no biológica. Por otra parte, un primer contacto con una IA extraterrestre podría ayudarnos a comprender la inteligencia biológica de su diseñador. En este sentido puede resultar iluminador el libro de Vallor (2024) en la que se trata a la IA como un espejo de la inteligencia humana. Vallor afirma que los sistemas de IA están diseñados como espejos inmensos de la inteligencia humana que no piensan por sí mismos, sino que generan reflejos complejos a partir de nuestros pensamientos, juicios, deseos, necesidades, percepciones, expectativas e imaginaciones registrados. De este modo no es difícil imaginar que una potencial IA extraterrestre podría ser el reflejo de los pensamientos y percepciones de la ETI que la diseñó.

1. Autoconciencia. Hasta donde yo sé, todavía no hay evidencias de este rasgo. Sin embargo, en 2022, Google despidió a un ingeniero que afirmó de manera controvertida que la IA era consciente⁶. Schneider (2021) se pregunta si las IA podrían tener experiencias y si una IA es un ser consciente. También esta autora señala que las ETI postbiológicas podrían

6 <https://www.nytimes.com/2022/07/23/technology/google-engineer-artificial-intelligence.html?searchResultPosition=1>

haber evolucionado a partir de civilizaciones biológicas⁷. Según Schneider el debate sobre la conciencia de la IA hace referencia principalmente a dos posiciones. La primera es la del naturalismo biológico que afirma que hasta la forma más sofisticada de IA está desprovista de experiencia interna. Así la capacidad de ser consciente es exclusiva de los organismos biológicos. La segunda posición es la del “tecnoptimismo” que a partir del trabajo empírico de la ciencia cognitiva sostiene que los sistemas computacionales sofisticados sí tendrán experiencia⁸.

2. Comunicación simbólica. Como parte de la comunicación intersubjetiva, el lenguaje es crucial. En un ensayo en *The New York Times*, Chomsky et al. (2023) afirman que, desde la perspectiva de la ciencia de la lingüística y la filosofía del conocimiento, los grandes modelos del lenguaje (LLM siglas en inglés) difieren profundamente de la forma en que los humanos razonan y utilizan el lenguaje. Estos autores señalan también que estos LLM toman enormes cantidades de datos, buscan patrones en ellos y se vuelven cada vez más competentes en la generación de resultados estadísticamente probables, como un lenguaje y un pensamiento aparentemente humanos. Y agregan que “tales programas están estancados en una fase prehumana o no humana de la evolución cognitiva”. Aunque carezco de estudios en lingüística, me atrevo a resaltar las palabras prehumano o no humano. ¿Qué sucedería si encontráramos una ETI que no pudiéramos incluir en las categorías del lenguaje según la evolución cognitiva humana? Una vez más, creo que deberíamos intentar evitar antropomorfismos y antropocentrismos.

3. Capacidad para experimentar la belleza y comunicar las emociones a través de las bellas artes, la literatura y la música. Nuestro amigo HAL 9000 no puede experimentar la belleza, sin embargo, puede generar poemas, libros, dibujos, música, etc., que transmiten no solo información sino también conocimientos y emociones que los seres humanos pueden decodificar.

7 Schneider, S. (2021), *Inteligencia Artificial / Una exploración filosófica sobre el futuro de la mente y la conciencia*. Badalona: Ediciones Koan, p. 14 y 17.

8 *Ibid.*, p. 34

4. Capacidad de crear y dejarse convencer por una narrativa. Un artículo del *The New York Times* informa que la IA se ha convertido en otro frente de las guerras políticas y culturales. Los periodistas señalan que la capacidad de la tecnología para crear contenido que se ajuste a puntos de vista ideológicos predeterminados y que una cacofonía informativa podría surgir de los chatbots que compiten con diferentes versiones de la realidad⁹.

5. Comprensión del universo en categorías científicas, explicación del universo formulando hipótesis fundadas en una relación causa-efecto basada en datos experimentales. Sébastien Bubeck et al (2023) informan que, en sus experimentos, con GPT-4 presenta dificultades para realizar tareas que requieren planificación anticipada o que requieren una *idea Eureka*, constituyendo un salto conceptual discontinuo en el progreso para completar una tarea. Estos autores también afirman que han demostrado que GPT-4 puede resolver tareas novedosas y difíciles que abarcan matemáticas, codificación, visión, medicina, derecho, psicología, etc.

6. Capacidad para plantear preguntas de sentido que trascienden la percepción inmediata de la realidad, capacidad para encontrar significado y valores a acciones y estructuras. Hasta donde yo conozco, nuestro amigo HAL 9000 no ha demostrado la capacidad de ofrecer una consideración filosófica o de encontrar un propósito y significado por sí mismo. Parece que por el momento la IA sólo es capaz de proporcionar información y comprensiones (*insights*), sea cual sea el significado de *insight* en este contexto¹⁰.

⁹<https://www.nytimes.com/2023/03/22/business/media/ai-chatbots-right-wing-conservative.html?searchResultPosition=2>

¹⁰ Chateando con el nuevo motor de búsqueda de Bing, pregunté por el significado de *insight*. Esta es la respuesta que recibí el 11 de abril de 2023: “El *insight* es la capacidad de obtener una comprensión precisa y profunda de alguien o algo. También puede referirse a una comprensión repentina o entendimiento de algo”. Debo agregar que al chatear con Chat-GPT varias veces recibí las siguientes palabras como parte de una respuesta: “Puedo proporcionar información e *insights*”.

7. Capacidad para inventar tecnología haciendo un uso racional de los recursos naturales y un potencial desarrollo de la IA. Esta habilidad supone la capacidad de interactuar con el mundo. Sobre este punto, Sébastien Bubeck et al (2023) muestran que GPT-4 es capaz de identificar y utilizar herramientas externas por sí solo para mejorar su rendimiento. También señalan algunas limitaciones en el uso de herramientas externas.

8. Sentido moral, altruismo y empatía. Nuevamente, no es posible afirmar que HAL 9000 muestre este tipo de rasgos morales. Sin embargo, podemos discutir esta característica en términos de alineación de objetivos. Como informó la revista *Scientific American*, los investigadores están trabajando para desarrollar una teoría más general de alineación de la IA que funcione para garantizar la seguridad de los sistemas futuros sin centrarse en los valores humanos, aunque reconocen que una teoría general de la alineación de la IA sigue ausente. Aquí deberíamos reflexionar sobre la capacidad de un sistema de IA para actuar o tomar decisiones de forma autónoma. Sébastien Bubeck et al (2023) señalan que “dotar a los LLM de agencia y motivación intrínseca es una dirección fascinante e importante para el trabajo futuro”. Nuevamente, debemos evitar antropomorfismos y antropocentrismos considerando que los sistemas de IA tienen agencia en el mismo sentido que los humanos. Como nota final, de la trama de la película *2001 Una odisea en el espacio* podemos recordar que existe un conflicto entre el objetivo con el que se ha programado HAL 9000 y la supervivencia de los astronautas a bordo. Es posible que pronto nos enfrentemos a este tipo de dilema. Por último, conviene destacar que los LLM están entrenados para manifestar cierto grado de empatía con el usuario. Claramente se trata de una empatía simulada.

9. Sentido ecológico. Haciendo referencia al punto anterior no es difícil imaginar que los sistemas de IA podrían estar alineados con el objetivo de ahorrar energía teniendo en cuenta un impacto ecológico teniendo en cuenta un uso más eficiente de la energía. Por una parte, según la Agencia Internacional de Energía los centros de datos representan actualmente entre el 1 y el 1,5 por ciento del uso mundial de electricidad, y el auge de la IA en el mundo podría hacer que esa cifra aumente considerablemente

en poco tiempo¹¹. Por otro lado, los principales científicos ambientales coinciden en que la humanidad se está acercando rápidamente a los límites planetarios y los está superando y la IA puede aprovecharse de manera responsable para acelerar la acción ambiental positiva¹².

El desarrollo tecnológico de la IA es muy rápido y posiblemente este trabajo esté desactualizado al escribir estas observaciones, pero no es arriesgado considerar a la IA como una manifestación de la noosfera ya que representa un medio para que los seres humanos mejoren su inteligencia colectiva y su capacidad para comunicarse e intercambiar información. Queda por investigar si a medida que los sistemas de IA se vuelven más avanzados y autónomos; también se puede considerar que contribuyen a la noosfera por derecho propio, ya que generan y procesan grandes cantidades de información y conocimiento.

V. Conclusiones

A modo de conclusión menciono los trabajos de Campa et al. (2022) y Peters (2016). Campa et al. sostienen que a medida que aumenta el número de exoplanetas detectados similares a la Tierra, la perspectiva de contacto con civilizaciones extraterrestres se vuelve más plausible. El encuentro entre civilizaciones extraterrestres implicaría una fusión de *Big Histories* resultando en una fusión de las noosferas. La perspectiva a largo plazo de este proceso es el despertar del universo entero. Creo que antes de pensar en fusión de civilizaciones considero que deberíamos hablar de encuentro. En Funes et al. (2023), tratamos brevemente el tema de encuentros diacrónicos y sincrónicos entre civilizaciones extraterrestres.

Por otra parte, Peters aborda SETI en perspectiva post-biológica. Este autor considera cuatro suposiciones tomadas del transhumanismo que subyacen en la astrobiología moderna: (1) Es razonable especular que la vida en la Tierra evolucionará hacia una inteligencia post-biológica; (2) si los extraterrestres han evolucionado más que nosotros en la Tierra, entonces estarán más avanzados científica y tecnológicamente; (3) es posible

11 Leffer, L. (2023), *The AI Boom Could Use a Shocking Amount of Electricity*, Scientific American, <https://www.scientificamerican.com/article/the-ai-boom-could-use-a-shocking-amount-of-electricity/>

12 Informe de Global Partnership on Artificial Intelligence (GPAI). <https://gpai.ai/projects/responsible-ai/environment/#>

la superinteligencia, las cargas de cerebros en las computadoras y la mente incorpórea; (4) el progreso evolutivo está guiado por el impulso hacia una mayor inteligencia. Peters concluye que estas suposiciones ofrecen una base teórica débil para la astrobiología y que la búsqueda de una ETI requiere una “estructura de esperanza” no totalmente apoyada por la ciencia actual. No obstante, propone que esta esperanza, aunque frágil, puede seguir inspirando la ciencia astrobiológica. El artículo destaca un enfoque crítico hacia las suposiciones transhumanistas en la astrobiología y sugiere que, mientras la búsqueda de una ETI puede continuar, debe hacerse con un reconocimiento claro de sus supuestos filosóficos y científicos.

Debido a las enormes distancias en nuestra galaxia, aún en nuestra vecindad solar, creo que será poco probable que se dé un *first contact* presencial y que debamos prepararnos para decodificar algún mensaje o interactuar con alguna forma de IA extraterrestre. Mientras tanto sería provechoso esforzarnos por comprender mejor y evaluar el impacto que las IAs terrestres tienen en nuestra noosfera.

Referencias

- Bialy, S. y Loeb, A. (2018). *Could Solar Radiation Pressure Explain 'Oumuamua's Peculiar Acceleration?* *The Astrophysical Journal Letters* 868, L1.
- Bubeck, S. et al. 2023. *Sparksof Artificial General Intelligence: Earlyexperimentswith GPT-4.* arXiv:2303.12712.
- Cabrol, N. (2023), *Prólogo. Un tiempo como ningún otro.* En J.G. Funes (Ed.), *La búsqueda de vida extraterrestre inteligente. Un enfoque interdisciplinario.* Córdoba: EDUCC - Editorial de la Universidad Católica de Córdoba, pp. 11-29.
- Campa, R., Corbally, C. y Boone Rappaport, M. (2022), *A Theory of the Merging Noospheres: Teilhard and Big History, Theology and Science*, doi: 10.1080/14746700.2021.2012924.
- Chomsky, N., Roberts, I. y Watumull, J. (2023) *The False Promise of Chat GPT*, *The New York Times*, <https://www.nytimes>.

com/2023/03/08/opinion/noam-chomsky-chatgpt-ai.html?action=click&module=RelatedLinks&pgtype=Article.

Deacon, T. W. (2023), *Conscious evolution of the noösphere: hubris or necessity? Religion, Brain & Behavior*, doi: 10.1080/2153599X.2022.2143409.

Funes, J.G., Florio, L., Lares, M., Asla, M. (2019) *Searching for Spiritual Signatures in SETI Research. Theology and Science*, doi: 10.1080/14746700.2019.1632550.

Funes, J.G. (2023). ¿Estamos solos en un Universo pensante? En Funes, J.G. (Ed.), *La búsqueda de vida extraterrestre inteligente. Un enfoque interdisciplinario*. Córdoba: EDUCC - Editorial de la Universidad Católica de Córdoba, p. 25.

Funes, J.G., Peccoud C. y Polisena V. (2023). *Hacia un encuentro con una civilización extraterrestre: motivaciones y nuevas categorías epistemológicas*. En Maximiliano Bozzoli, Luis Salvático y David Merlo (Eds.), *Epistemología e Historia de la Astronomía Volumen I*. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Filosofía y Humanidades. Libro digital, PDF, 123.

Funes, J.G., Lares M., Abrevaya, G., Asla M. y Florio, L. (2023). *La búsqueda de vida extraterrestre inteligente. Un enfoque interdisciplinario*. Córdoba: EDUCC - Editorial de la Universidad Católica de Córdoba.

Howell, S.B. (2020). *The Grand Challenges of Exoplanets*. *Front. Astron. Space Sci.*, Volumen 7, doi: 10.3389/fspas.2020.00010.

Ivanov, V.D., Beamín, J.C., Cáceres, C. y Minniti, D. (2020), *A qualitative classification of extraterrestrial civilizations*. *Astronomy & Astrophysics*, Volumen 639, doi: 10.1051/0004-6361/202037597.

Kardashev, N. S. 1964, *Soviet Ast.*, 8, 217 [NASA ADS] [Google Scholar] *NASA and the Search for Technosignatures A Report from the*

NASA, *Technosignatures. Workshop*, Noviembre 28, 2018. arXiv:1812.08681 [astro-ph.IM]doi: 10.48550/arXiv.1812.08681.

Peters, T. (2016). *Outerspace and cyberspace: meeting ET in the cloud* *International Journal of Astrobiology*, doi:10.1017/S1473550416000318.

Schneider, S. (2021). *Inteligencia Artificial. Una exploración filosófica sobre el futuro de la mente y la conciencia*. Badalona: Ediciones Koan.

Vallor, S. (2024). *The AI Mirror: How to Reclaim Our Humanity in an Age of Machine Thinking*. New York: Oxford University Press. Edición Kindle.



Sobre el carácter disciplinar de la Cosmoquímica

Laura N. García*

Gabriel Paravano**

Marcela Saavedra ‡

Resumen

Una de las definiciones más citadas de la cosmoquímica es la dada por Donald Clayton (1982), el cual refirió a ésta como “la nueva ciencia astronómica [que] consiste en medir las propiedades de la evolución química de la galaxia través del estudio de muestras de meteoritos en laboratorios terrestres” (p.174). Sin embargo, esta idea no quedó fijada en el siglo pasado; autores contemporáneos, comprenden que la cosmoquímica es un campo de las ciencias planetarias, que incluye los procesos que dieron lugar a las composiciones químicas del universo y de sus constituyentes. ¿Corresponde entonces referir a la cosmoquímica como un campo de la astronomía o de las ciencias planetarias o cuál es su estatus disciplinar? De un exhaustivo análisis, que incluye las prácticas cotidianas de profesionales que se desempeñan en el ámbito, proponemos que la cosmoquímica podría ser considerada como una “transdisciplina”, por sobre las alternativas de interdisciplina o multidisciplina.

Palabras clave: Meteoritos, Astronomía, Interdisciplina, Transdisciplina, Multidisciplina.

Abstract

One of the most cited definitions of cosmochemistry is the one provided by Donald Clayton (1982), who referred to this as “the new astronomical

* Instituto de Ciencias Astronómicas, de la Tierra y del Espacio (CONICET-UNSJ), Instituto de Mecánica Aplicada (UNSJ).

** Instituto de Filosofía (UNSJ).

‡ Instituto de Ciencias Astronómicas, de la Tierra y del Espacio (CONICET-UNSJ), Instituto de Investigaciones Mineras (UNSJ).

science [that] consists of measuring the properties of the chemical evolution of the galaxy through the study of meteorite samples in terrestrial laboratories” (p.174). However, this idea was not settled in the last century; Contemporary authors conceive cosmochemistry as a planetary sciences field which includes the processes that gave rise to the chemical compositions of the universe and its constituents. Is it then appropriate to refer to cosmochemistry as a field of astronomy or planetary sciences or what is its disciplinary status? From a comprehensive analysis, which includes the daily practices of professionals who work in the field, we propose that cosmochemistry might be considered a “transdiscipline”, instead of the alternative interdiscipline or multidiscipline.

Keywords: Meteorites, Astronomy, Interdiscipline, Transdiscipline, Multidiscipline.

I. Introducción

Una de las definiciones más citadas de la cosmoquímica es la dada por Donald Clayton. Clayton (1982) refirió a la cosmoquímica como “la nueva ciencia astronómica [que] consiste en medir las propiedades de la evolución química de la galaxia¹ a través del estudio de muestras de meteoritos en laboratorios terrestres” (p.174).

“Se basó en el descubrimiento de que ese mismo procesamiento químico [la evolución de las formas químicas dentro del medio interestelar] en el Sistema Solar no borró por completo la memoria de la condición química inicial y en la capacidad de encontrar, en muestras de laboratorio de meteoritos y otros cuerpos, características que son atribuibles a esa condición química inicial.” (Clayton, 1982, p.174).

Sin embargo, esta idea no quedó fijada en el siglo pasado. Es así como autores contemporáneos como McSween y Huss (2021) comprenden que la cosmoquímica es un campo de las ciencias planetarias, la cual incluye los procesos que dieron lugar a las composiciones químicas del universo y de sus constituyentes.

1 El término evolución química de la galaxia refiere a la descripción de la evolución de las formas químicas y de las estructuras isotópicas en el medio interestelar.

Surge entonces la siguiente pregunta: ¿Corresponde entonces referir a la cosmoquímica como un campo de la astronomía o de las ciencias planetarias o cuál es el estatus disciplinar de ésta? Podemos considerar tres respuestas al respecto:

- Una primera respuesta comprende que, la cosmoquímica por su característica de operar mediante un conjunto de ciencias que colaboran entre sí (como la propia astronomía, la geología o la química, entre otras), tendría una forma *multidisciplinar*. Principalmente porque cada una de estas disciplinas científicas estarían proveyendo su visión sobre la evolución química de la galaxia de una forma diferente pero que es, a la vez, complementaria (Trigo Rodríguez, 1999).
- Una segunda respuesta interpreta que, debido a que la cosmoquímica sería el resultado integral de los hechos estudiados en el laboratorio por las distintas disciplinas participantes, tendría que ser considerada como un saber interdisciplinario (Mickaelian y Farmanyan, 2021).
- Y, una tercera respuesta, concibe que la cosmoquímica no entra en la reflexión sobre los problemas disciplinares de las ciencias del universo, pues esta sería sólo un *modelo* de cómo se organizan los elementos en el universo (Shaw, 2006).

Esta falta de consenso sobre la manera en la cual la cosmoquímica produce su conocimiento, conduce a un punto en donde se vuelve necesario repensar su propio estatus disciplinar. Es decir, cómo se comprenden las maneras en que la cosmoquímica investiga al universo, propone hipótesis sobre el mismo, pone a prueba sus conjeturas y valida sus teorías, no ha de operar en el mismo sentido si es considerada como una práctica multidisciplinar, interdisciplinar o un complejo modelo representativo. Esto es así ya que, en el primer caso, los fenómenos que estudia, serían descompuestos en sub-problemas trabajados por cada disciplina participante; en el segundo, los fenómenos serían entendidos como un solo problema que emerge de la relación dada entre varias dimensiones de análisis; y, en el tercero, se estarían acomodando los fenómenos constatados en la representación pretendida (Pérez Matos y Setién Quesada, 2008). Es por

ello que, en este trabajo, buscamos revisar la concepción disciplinaria de la cosmoquímica, y abogamos para que sea considerada como una “transdisciplina” por sobre las alternativas presentamos. Para exponer nuestro argumento, dividimos el escrito en tres apartados principales, a saber: uno sobre el problema epistémico que implica la noción de “cosmoquímica”, otro sobre qué lugar filosófico y disciplinar puede ocupar la “cosmoquímica”, y el último sobre nuestro posicionamiento específico, en donde damos razones de porqué debe ser considerada esta ciencia como un saber transdisciplinar. Finalmente, damos una conclusión abierta a la discusión en donde invitamos al diálogo a nuestros interlocutores.

II. Un problema epistémico para la Cosmoquímica

La cosmoquímica se concentra principalmente en los objetos de nuestro Sistema Solar, pues de éste proviene la mayor parte de la información a la cual tenemos acceso, e incluye la composición del Sol, de los planetas y sus satélites, asteroides y cometas. En términos sencillos, a partir de su composición química, la cosmoquímica intenta revelar los procesos que dieron lugar a su formación o los afectaron durante la misma. Tal análisis, a su vez, se coloca (o diagrama) dentro de una cronología lineal que permite definir una historia primitiva de la galaxia (Varela, 2015), como si fuese *una ventana hacia nuestro pasado cósmico*. En esta línea es importante resaltar lo siguiente: los procesos que ocurren dentro de las estrellas, en el espacio interestelar, y dentro de la nebulosa solar, no tienen una contraparte terrestre, sino que se infieren a partir de observaciones astronómicas y de deducciones teóricas, es decir, implica un conocimiento indirecto del pasado cósmico. No obstante, los análisis cosmoquímicos de meteoritos en laboratorios terrestres, los cuales fueron moldeados o afectados por estos procesos, proveen una mirada directa sobre los mismos.

Por este consenso, y probablemente también por la conceptualización propuesta en la década de 1980, inicialmente la cosmoquímica ha sido relacionada con la geoquímica, dado que ésta supone el estudio de las composiciones químicas de los elementos y de los materiales de la Tierra. En tal sentido, podría pensarse a la cosmoquímica simplemente como una consecuencia extraterrestre de este tipo de investigaciones (McSween y Huss, 2021). De hecho, la revista técnica más prominente en esta disciplina se denomina *Geochimica et Cosmochimica Acta*, la cual ha conservado

este sentido de “cosmoquímica” desde su creación en 1950. Ahora bien, también puede pensarse a la cosmoquímica su relación con la astrofísica (y con las ciencias planetarias) en términos de los caminos y recorridos, junto con las marcas y señales estelares, que tienen expresiones químicas propias (Varela, 2015). Muchas veces, en su uso coloquial y divulgativo, esta interpretación paciera ser el lugar común.

Lo que buscamos señalar con estos dos sentidos es que existe un problema de especificidad y de relación disciplinar que es necesario abordar al momento de pensar a la cosmoquímica. Epistémicamente surgen tres cuestiones relevantes:

- En primer lugar, por la composición de la propia nomenclatura de la ciencia, que ya implica una *dualidad conflictiva*, el estudio del “cosmos” y el estudio de lo “químico”.
- En segundo lugar, la caracterización de su *objeto de estudio*, pues un acercamiento superficial señala que parece atravesar dimensiones, categorías y/o propiedades de objetos de estudios de otras disciplinas, como los de las mencionadas geoquímica, astrofísica y ciencias planetarias.
- En tercer lugar, la problemática de una práctica disciplinar *compartida* debido a que, en las ciencias planetarias, es común referirse a la construcción de una cronología que trata de dar cuenta de cómo ciertos eventos del pasado configuraron nuestro presente (Anguita Virella y Castilla Cañamero, 2010).

Claramente, al señalar esta tercera cuestión, sobre la “práctica científica”, no es vano aclarar que en la labor cotidiana los investigadores no conjeturan sobre el estatus científico, o siquiera sobre el alcance institucional de su oficio. En otras palabras, los científicos *saben hacer cosmoquímica* pero no se interrogan *por qué la cosmoquímica es una ciencia*. Esto da lugar a evidenciar con más fuerza el problema en cuestión, enmarcando al problema disciplinar de la cosmoquímica como un problema epistémico.

El *saber hacer* es una tarea científica, el *saber por qué se hace* es una tarea epistémica. Como señalan Diez y Moulines (1997): “La tarea del filósofo de la ciencia es investigar los principios que rigen esta actividad, principios

que, si suponemos que son seguidos implícitamente por los científicos, la hacen comprensible” (p.20). Esto es relevante porque permite considerar las siguientes interrogantes: ¿cómo se relacionan las dimensiones teóricas de esta ciencia con otras ciencias (p. ej., con la geoquímica, y la astrofísica)?, ¿qué tipo de normas o procedimientos la caracterizan (o particularizan) frente a otras formas de estudiar los mismos aspectos del universo (p. ej., los métodos de recolección, la clasificación de los objetos de estudio, las técnicas de análisis de datos, etc.)? De igual manera, esta caracterización es importante, porque permite establecer caminos posibles de definición interna sobre su propio rol en la comunidad científica que, en definitiva, es lo que aborda este trabajo mediante la pregunta “¿cuál es el estatus disciplinar de la cosmoquímica?”.

III. Pensando a la Cosmoquímica desde la Epistemología

Toda ciencia es pensable desde dos dimensiones que, como una moneda, son las dos caras de un mismo objeto, una dimensión referida al carácter general y teórico, y otra dimensión referida al carácter particular y práctica. Los siguientes dos incisos pretenden dar claridad sobre esto y en qué medida representan un cuestionamiento relevante para la cosmoquímica.

1.1. La invasión de los *términos* epistémicos en la Cosmoquímica

Como se mencionó al inicio de este artículo, más allá del consenso sobre qué hace la cosmoquímica, se ha discutido sobre la forma en que la cosmoquímica *puede hacer lo que hace*. En otros términos, los *resultados* que este campo ha dado sobre la formación del sistema solar primitivo, y la cronología de los eventos originales de la constitución elemental del mismo, no se debaten como si fuesen simplemente “conjeturales”. Muchos de sus resultados y conclusiones se toman como evidencia sólida para sostener a la teoría cósmica actual (McSween y Huss, 2021). Dicho esto, entendemos que, para tomar sus teorías como conceptos e interpretaciones sólidas del universo, debe reconocerse que se hace cosmoquímica de una forma en particular (esto es, de la forma que permite alcanzar las buenas comprobaciones de sus teorías). Aunque parezca redundante, es una cuestión meta-disciplinar pero que parte de la actividad de sus investigadores, pues

pone de manifiesto la naturaleza de las prácticas científicas particularizantes de este conocimiento. De tal forma:

- No es lo mismo que la cosmoquímica sea una “disciplina aislada” que logra dar cuenta de estos resultados, o que sea una “subdisciplina” o un “campo” de alguna ciencia, a que sea una “multidisciplina”, en donde sus resultados son la suma de miradas individuales de otras disciplinas. Por ejemplo, si es una multidisciplina, el conocimiento del Sistema Solar primitivo no sería algo de la “cosmoquímica” sino que el “conocimiento cosmoquímico” sería equivalente a la suma de los saberes particulares de la geoquímica y la astrofísica sobre el sistema solar primitivo (Trigo Rodríguez, 1999).
- Tampoco es igual ser un conjunto de “prácticas indisciplinadas” (es decir, sin coherencia interna) que, por el método científico, han logrado desarrollar un discurso cosmoquímico coherente, a que sea una ciencia decididamente “interdisciplinar”, en donde los resultados obtenidos equivalen a una cooperación y construcción de objeto de estudio en común (Mickaelian y Farmanyan, 2021).
- Finalmente, no es lo mismo comprender que la cosmoquímica sea una “macro-teoría” que incluye un conjunto de postulados ontológicos, presupuestos empíricos y leyes sobre las regulaciones químicas de los materiales extraterrestres, al hecho de considerarla como un “modelo científico” que representa a la cronología del sistema solar en términos químicos (Shaw, 2006).

Para poder dar claridad a este problema que, como una *infección epistemológica*, se expande en vez de contraerse, quizás poniendo en riesgo a la integralidad de la práctica científica de la cosmoquímica, es necesario precisar dos puntos. Por un lado, ¿qué es lo más propio de la cosmoquímica? Y, por otro lado, tratar de dar cuenta ¿por qué eso nos permitiría resolver su estatus disciplinar? El siguiente inciso busca dar claridad sobre esto.

1.2. La Actividad en la cosmoquímica (higienizando desde prácticas reales)

Para responder a la primera pregunta, “¿qué es lo más propio de la cosmoquímica?”, y poder frenar lo que irónicamente llamamos como expansión de la “infección epistemológica”, entendemos que es necesaria una “naturalización” de las prácticas científicas que sostienen a la cosmoquímica. Con naturalización no se pretende hablar de una metafísica en la que se buscará la “naturaleza” de la cosmoquímica, como si estuviésemos hablando una alguna entidad trascendental. Mas bien pretende definir la cosmoquímica por lo que realmente hacen los que se dedican a ella (Kitcher, 2001). Es decir, si se quiere saber qué estatus disciplinar tiene la cosmoquímica no basta con pensar qué tipo de teorías, instrumentos, metodologías u objetos de estudio posee (como se mencionó en la sección anterior), sino que debe estudiarse quiénes la utilizan y, lo más relevante, cómo las usan. La idea de la “naturalización”, entonces, parte de reafirmar la actitud empírica y crítica de la ciencia, en donde no sólo su conocimiento se genera mediante un cuidadoso y revisado trabajo experimental sino, paralelamente, se identifica su condición epistémica por cómo los grupos de científicos crean estos contenidos (Giere, 1988).

Entonces, con este espíritu epistemológico naturalista, se entiende que la cosmoquímica provee una visión crítica sobre el origen de nuestro Sistema Solar, y los complejos procesos que ocurren dentro de planetesimales y planetas durante su evolución. Entendemos que gran parte de la base de datos de la cosmoquímica proviene de los análisis realizados en un laboratorio sobre nuestra modesta colección de muestras extraterrestres (ver Fig. 1 sobre recuperación de meteoritos). Asimismo, un porcentaje creciente de esta base está obteniéndose de mediciones realizadas por instrumentos montados en sondas espaciales, los cuales proveen análisis químicos y contextos geológicos sobre otros planetas y sobre asteroides. Para lograr esto, esta disciplina ha liderado el desarrollo de nuevas tecnologías analíticas para su uso en el laboratorio o en misiones espaciales. Tecnologías que han terminado por extenderse a otros campos de investigación, principalmente aquellos que buscan realizar análisis químicos precisos, por ejemplo, en geoquímica y en la ciencia de materiales (Zinner et al., 2023). A pesar de las cualidades vanguardistas de la cosmoquímica, y la relevancia de sus aportes a la construcción del conocimiento científico,

usualmente es *instruida* a través de trabajos científicos y libros especializados en meteoritos y ciencias planetarias, esto es, el proceso de profesionalización se hace por medio de estas disciplinas, y no por una que sea propiamente “cosmoquímica”².



Figura 1. Campaña de recuperación de meteoritos en el desierto de Atacama (Chile) en agosto 2023. Participan la Dra. en geología Millarca Valenzuela, la Dra. en ciencias de la ingeniería Laura García, y el Lic. en geología Kevin Soto. Foto tomada por la Lic. en geología Camila Caviedes. Las campañas de búsqueda sistemática de meteoritos son una de las principales fuentes de recolección de material extraterrestre.

² Es suficiente, para entender este punto, con ver las *programaciones de las cátedras* dedicadas a la enseñanza de la Cosmoquímica. Como el aspecto pedagógico excede los intereses de este trabajo esto no será abordado en el artículo, basten las siguientes recomendaciones de lectura: Ahrens, L. H. (2015) *Origin and Distribution of the Elements: International Series of Monographs in Earth Sciences*, y Makishima, A. (2017) *Origins of the Earth, Moon, and Life: An Interdisciplinary Approach*.

Entonces, esta forma de trabajar, desde laboratorios y con testeos en sondas espaciales, junto con estos desarrollos vanguardistas en los análisis químicos realizados por especialistas en meteoritos y ciencias planetarias, genera un perfil profesional y una manera de estudio. A tal perfil, debe sumársele todo otro conjunto de prácticas profesionales en cosmoquímica las cuales, en vez de *definirse* o *especificarse* en los términos geoquímicos o en términos de las ciencias planetarias, se *nutren* o *robustecen* desde esta dinámica particular. La cual podemos, a nuestro entender, desglosar del siguiente modo:

- En primer lugar, los modelos de estas disciplinas ofician como marcos guía de trabajo para la cosmoquímica, los cuales se ponen a prueba por medio de sus propios resultados de investigación. Por mencionar sólo un caso, se puede pensar en cómo las observaciones astronómicas significan aportes en la comprensión del medio en el cual las estrellas se forman, interés de primer nivel epistémico para esta ciencia, mientras que en otras investigaciones tiende a ocupar un nivel secundario.
- En segundo lugar, tales disciplinas (principalmente las dedicadas a los meteoritos y a los planetas), lo que hacen es proveer datos que se complementan con los derivados de la cosmoquímica. Tal y como es el caso de los datos espectroscópicos de abundancias químicas que complementan los análisis químicos de granos presolares en meteoritos.
- En tercer lugar, en los procesos de investigación, la cosmoquímica no recupera, sino que ofrece datos relevantes y significativos para la astronomía (lo que va en contra del sentido común de que toda ciencia planetaria “asiste” a la astronomía). Por ejemplo, las abundancias elementales espectroscópicas medidas en el Sol se pueden comparar con las proporciones de elementos en meteoritos condriticos, y tal congruencia permite que las abundancias condriticas medidas sustituyan aquellos elementos sin líneas espectrales solares mensurables.

Estos elementos buscan señalar que, si bien hay una tendencia de pensar a la cosmoquímica como una disciplina subsidiaria de otras ciencias,

el trabajo realizado por quienes se ocupan de ella, y los resultados que se obtienen, son señales de que está en un mismo nivel epistémico que las otras disciplinas mencionadas.

Dicho lo anterior, en este trabajo se considera que esta mirada “macro-disciplinar” no es lo suficientemente específica, debido a que no muestra el consenso científico de sus participantes directos. Es decir, no da cuenta de cómo es el proceso cognitivo cooperativo realizado por los investigadores, que sirve de parámetro para reconocer de qué manera los usuarios de esta ciencia comprenden a dicha ciencia (Kitcher, 2001). En otras palabras, la ciencia no sucede de *arriba hacia abajo*; esto es, según cómo las disciplinas ven a sus disciplinares pares (p. ej., de cómo la geoquímica o las ciencias planetaria ven a la cosmoquímica), pues la ciencia sucede de *abajo hacia arriba*, es decir, según cómo las prácticas individuales de los científicos contribuyen a diseñar formas de trabajo cooperativo en una particular forma disciplinar (que puede ser unitaria, múltiple, inter, etc.).

Consideramos necesario, e imprescindible para resolver el cuestionamiento planteado al inicio de este escrito, repasar críticamente lo que los investigadores realizan cotidianamente en sus trabajos de cosmoquímica. Como un primer paso, se ha tomado a nuestro propio grupo de trabajo inter-institucional, el cual comprende científicos del grupo de Cosmoquímica del Instituto de Ciencias Astronómicas, de la Tierra y del Espacio (ICATE, CONICET-UNSJ) y del Grupo de Meteoritos y Ciencias Planetarias de la Sociedad Geológica de Chile, y se ha indagado en cómo comprenden a sus prácticas cotidianas, es decir, en ¿qué consiste un día de trabajo investigativo? y ¿cómo proyectan el impacto de su trabajo en el área?³

3 Claramente este no es un trabajo sociológico de la ciencia, o si quiera psicológico de la ciencia, sobre la cosmoquímica, cuyas temáticas exceden completamente lo pretendido quedando, tal vez, para futuros trabajos abordar estas líneas problemáticas. Aunque no se han desarrollado aún labores significativas en esta áreas, se recomienda las siguientes lecturas Cooperdock, E.H.G., Labidi J., Dottin J.W. III, Keisling B. (2020) “Black Lives Matter: Promoting Diversity, Equity, and Inclusion in Geochemistry”, en *Elements*, N° 16, pp. 226-227, y Pourret, O., Pallavi, A., Arndt, S., Bots, P., Dosseto, A., Li, Z., Carbonne, J. M., Middleton, J., Ngwenya, B., Riches, A. J. V. (2021) “Diversity, Equity, and Inclusion: tackling under-representation and recognition of talents in Geochemistry and Cosmochemistry”, en *Geochimica et Cosmochimica Acta*, N° 310, pp. 363-371.

Nuestro grupo de trabajo coincide en que su labor científica consiste, principalmente, en un estudio de la composición petrográfica y química de los minerales que componen a los meteoritos. Estudio que trata de encontrar, particularmente, similitudes o diferencias entre los meteoritos y las rocas terrestres, para así obtener una información precisa que permita elaborar una “historia”. El sentido de esta historia es reconstruir ciertas partes o momentos de las condiciones físico-químicas de los reservorios de rocas que se formaron en la *juventud del Sistema Solar*. Lo anterior requiere de un análisis sobre las micro-estructuras que definen a los meteoritos y su génesis (p. ej., temperaturas o presiones a las que se habría expuesto el cuerpo parental del meteorito), es decir, se requiere de una labor de ingeniería inversa sostenida por el desarrollo de instrumentos (como la microsonda electrónica, el microscopio electrónico de transmisión y la espectrometría de masas de iones secundarios), para poner a prueba tanto a las conjeturas que se tienen sobre los orígenes y desarrollos del Sistema Solar, como a las proyecciones que se realizan sobre sus futuros procesos y estados.

Tal labor se les presenta, a este pequeño grupo de trabajo, con una relevancia epistémica tal, que nos llevó a considerar la posibilidad de que exista un giro en los órdenes disciplinares, poniendo “lo que está abajo hacia arriba” pues, una mirada rápida en la práctica de la cosmoquímica, mostraría que al ocuparse de una labor genealógica, esta tendría que estar en una parte superior en la organización del trabajo disciplinar, dejando en segundo lugar, áreas como la geológica, de ciencia de materiales, ciencia de meteoritos, etc. En palabras más sencillas, esta tarea de investigar y comprender la evolución del Sistema Solar no deja de tener que incluir e incorporar múltiples áreas de trabajo para generar una comprensión compleja sobre qué consiste y qué puede significar para nosotros. Pero consideramos que tal giro es una posición apresurada e incorrecta, más bien, entendemos que no opera una “inversión” sino una “transformación” del campo de investigación. Vemos que, en la superposición de todas estas disciplinas, parece que emerge una *zona común*, tal vez un área disciplinar que va más allá de la simple conjunción de estas ciencias, y consideramos que esta zona común es lo que se ocupa de investigar la ciencia denominada “cosmoquímica”. En última instancia, es la visión cosmoquímica integrada con la astrofísica, que permite describir los diferentes estadios de formación de nuestro Sistema Solar.

2. Discusión: La Naturalización de la Cosmoquímica (lo que epistémicamente nos queda)

Entendemos que la cosmoquímica no puede negar su relación con la astrofísica, la geología, la química, la ciencia de los meteoritos o la ciencia de materiales. Tradicionalmente los científicos que trabajan en un área se conectan (o trabajan) con científicos de las otras áreas. Por lo que hay una comunidad, con múltiples círculos de producción institucional. Comunidad expresada en la superposición de investigadores en diversos proyectos de investigación⁴, las cuales están compartiendo saberes y prácticas orientados a los métodos de análisis, de estudio e interpretación de los datos de los meteoritos, principalmente, los que pueden servir como elementos que den información sobre la historia del Sistema Solar. Estos intelectuales e investigadores trabajan continuamente en proyectos financiados, desarrollan distintas áreas o dimensiones sobre el problema de la historia del cosmos, y están participando (mayormente) de los mismos congresos, jornadas y cursos de posgrado⁵, compartiendo sus descubrimientos e inquietudes.

Estas decisiones de trabajo que modelan al perfil del investigador partícipe de la cosmoquímica, evidencian sus elecciones libres y cómo definen a sus prácticas profesionales. Proceso que ha ido generando paulatinamente un consenso científico, desde las formas en cómo se comunican sus estudios o jerarquizan sus investigaciones, hasta cómo se formulan sus problemas significativos contemporáneos. Este es un consenso de *carácter*

4 Otra dimensión de estudio que excede a este trabajo son los estudios institucionales, en donde se analizan qué agentes participan en las universidades, laboratorios e institutos, cómo se relacionan y en qué tareas reinciden. Para esto es ilustrativo, en el área que nos ocupamos y en el territorio sobre el cuál hablamos, el último ejemplar publicado Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales y la Academia Nacional de Ciencias en el 2015 sobre el “Estado y Perspectivas de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales en Argentina”.

5 Esto puede conectarse al problema de la *Sociología de la Ciencia de la Cosmoquímica* o a los *Estudios de la Institucionalización de la Cosmoquímica* que, como se ha mencionado, no puede ser desarrollado aquí. Para lo primero, remitimos a Pourret, O., Pallavi, A., Arndt, S., Bots, P., Dosseto, A., Li, Z., Carbonne, J. M., Middleton, J., Ngwenya, B., Riches, A. J. V. (2021), para lo segundo, remitimos a Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales y la Academia Nacional de Ciencias (2015).

virtual, no explícito, pero sí práctico, en el que se acordó que el estudio de la química de los cuerpos extraterrestres puede darnos indicios de la historia del Sistema Solar. Estudio que se realiza a través de un conjunto de observaciones e instrumentos, guiados con principios metodológicos compartidos, en donde las hipótesis apropiadas son las que han sido inter-socialmente verificadas (como sean los modelos químicos primitivos en la formación del Sistema Solar).

De ser correcta nuestra interpretación, nos deja una imagen un poco más nítida, sin tanta “infección epistémica” como mencionamos anteriormente y, a su vez, sin tanta confusión disciplinar, en donde la cosmoquímica presenta una perspectiva amplia de los fenómenos de un sistema de la realidad conocida. Se entienden que estos fenómenos están íntimamente conectados, de forma recíproca y holística, lo que permite que puedan darse las reconstrucciones sobre la génesis del Sistema Solar. Siendo su objeto de estudio un fenómeno complejo que emerge mediante la aplicación de técnicas y tecnologías específicas de ciertos objetos (p. ej., los meteoritos), pero no depende de los objetos en sí (como sí lo haría una ciencia de los materiales o una ciencia de los meteoritos). Siendo sus sujetos investigadores, un grupo de profesionales que deben incorporar el lenguaje y las prácticas de diversas disciplinas científicas, para lograr esta imagen totalizadora que da la cosmoquímica, a saber: *la evolución de las formas químicas dentro del medio interestelar y los procesos que le dieron lugar*. Esta incorporación de lenguaje y prácticas foráneas, aparentemente irá complejizándose a lo largo de los próximos años, especialmente con la llegada de numerosas misiones espaciales que incluyen el retorno de material extraterrestre a la Tierra para su estudio en laboratorios terrestres. Ello generará íntimas interacciones no sólo entre las disciplinas ya señaladas, sino también con ingenierías que aportan al rubro aeroespacial.

IV. Conclusión a modo de debate

Lo anterior no quiere presentarse como una conclusión inapelable, en realidad, es la invitación a un debate a los colegas pues, claramente, no se han podido incorporar todas las dimensiones necesarias para generar un diagnóstico íntegro de qué implica disciplinariamente la cosmoquímica. Consideramos que es por dónde se debe iniciar el camino, el cual puede permitir no sólo una mayor consciencia en el quehacer de la cosmoquí-

mica sino, también, una resignificación positiva de sus aportes. Ahora, este inicio tiene una consecuencia positiva, pues nos ha señalado algunos callejones sin salida que debemos evitar a la hora de preguntarnos epistémicamente sobre la identidad de la cosmoquímica, a saber:

1. No se puede argumentar que es una *sub-disciplina* porque no es dependiente conceptual y holísticamente ni de la geoquímica o de la astrofísica. Sostener esto sería una postura *ingenua*.
2. No se puede argumentar que es una *disciplina* porque no está aislada de las producciones e investigaciones de otras ciencias. Sostener esto sería una postura *simplista*.
3. No se puede argumentar que es *indisciplina* porque no es ajena a los procesos de institucionalización y de las prácticas científicas normalizadas. Sostener esto sería *negar* los círculos de investigación constituidos, las revistas especializadas y los trabajos publicados en el área.
4. No se puede argumentar que es una *multidisciplina* porque no depende de la suma estricta de un conjunto de disciplinas, en donde, la desaparición de una anularía su existencia. Sostener esto sería una postura *reduccionista*.
5. No se puede argumentar que es una *interdisciplina* porque su objeto de estudio no es el resultado de un simple diseño cooperativo de un conjunto de disciplinas, sino que proviene de una pregunta particular que no abordan las otras ciencias. Sostener esto sería tener una mirada *acrítica*.

Lo anterior no implica que no puedan encontrarse nuevos o mejores argumentos para decir que la cosmoquímica sea una sub-disciplina, una interdisciplina, una multidisciplina, una indisciplina o siquiera un modelo específico de cómo ha sido, es y será el Sistema Solar. Pero sí implica que, de no considerarse otros, y de ser cierto la imagen totalizadora que nos presenta la cosmoquímica de *la evolución de las formas químicas dentro del medio interestelar*, habrá que aceptar que la cosmoquímica es una “transdisciplina”. Debido a que su saber científico es efecto de querer estudiar

un fenómeno que aparece sólo al construir una mirada particular del Sistema Solar, en donde se busca comprenderlo desde su totalidad evolutiva, por lo que se toma (de distintas ciencias) elementos discursos, técnicos y prácticos para crear nuevos discursos, nuevas técnicas y nuevas prácticas científicas que hacen a esta ciencia conocida como “cosmoquímica”.

Referencias

- Anguita Virella, F., y Castilla Cañamero, G. (2010). *Crónicas del Sistema Solar*. Madrid, España: Equipo Sirius.
- Balaram, V. Ramkumar, M., y Akhtar, R.M. (2023). Developments in analytical techniques for chemostratigraphy, chronostratigraphy, and geochemical fingerprinting studies: Current status and future trends. *Journal of South American Earth Sciences*, 129.
- Clayton, D.D. (1982). Cosmic Chemical Memory - a New Astronomy. *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*, 23(2), pp. 174-212.
- Diez, J.E., y Moulines, C.U. (1997). *Fundamentos de Filosofía de la Ciencia*. Barcelona, España: Ariel.
- Giere, R. (1988). *Explaining Science. A cognitive approach*. Chicago, Estados Unidos: The University of Chicago Press.
- Goderis, S., Chakrabarti, R., Debaille, V., y Kodolányi, J. (2016). Isotopes in cosmochemistry: recipe for a Solar System. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 31, pp. 841-862.
- Hoppe, P., Cohen, S., Meibom, A. (2013). NanoSIMS: Technical Aspects and Applications in Cosmochemistry and Biological Geochemistry. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 37(2), pp. 111-154.
- Kitcher, R. (2001). *El Avance de la Ciencia. Ciencia sin Leyenda. Objetividad sin Ilusiones*. Ciudad de México, México: Universidad Autónoma de México.



McSween Jr, H., y Huss, G. (2021) *Cosmochemistry*. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.

Mickaelian, A. M., Farmanyan, S. V. (2021). Astronomy in the Cross-roads of Interdisciplinary and Multidisciplinary Sciences. *Proceedings of the International Astronomical Union*, 15(367), pp. 1-8.

Pérez Matos, N.E., y Setién Quesada, E. (2008). La interdisciplinariedad y la transdisciplinariedad en las ciencias: una mirada a la teoría bibliológico-informativa. *ACIMED* 18(4), pp. 1-19.

Shaw, A.W. (2006). *Astrochemistry from Astronomy to Astrobiology*. Estados Unidos: John Wiley & Sons.

Trigo Rodríguez, J.M. (1999). El origen de la vida desde diversas perspectivas. Un acercamiento a la astrobiología desde un punto de vista interdisciplinar. *Mundo Científico*, 198, pp. 65-70.

Varela, M.E. (2015). Meteoritos. Restos Rocosos del Sistema Solar Primitivo. Buenos Aires, Argentina: Vazquez Mazzini.

Zinner, E.R., Moyneir, F., y Stroud, R. (2011). Laboratory technology and cosmochemistry. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(48), pp. 19135-19141.



Historia y didáctica sobre la medición de la velocidad de la luz

Rafael Girola Schneider*

Abstract

This work aims to show how, starting from the practical problem of determining the geographic longitude, Ole Roemer was able to demonstrate that light has a finite speed. His way of proceeding and the impact of his verification will be analyzed from a historical perspective, strengthening the scientific recognition of Roemer as the first person to measure the speed of light, one of the fundamental constants.

Through a teaching sequence, aimed at students of a Physics teaching course, the Roemer method will be recreated, using software tools to understand its most important aspects.

Keywords: Light, measurement, magnitude, eclipse, Roemer

Resumen

Este trabajo pretende exponer cómo, a partir del problema práctico de la determinación de la longitud geográfica, Ole Roemer pudo demostrar que la luz tiene una velocidad finita. Se analizará desde una mirada histórica, su forma de proceder y la repercusión que tuvo su comprobación, fortaleciendo el reconocimiento científico a Roemer como la primera persona en medir la velocidad de la luz, una de las constantes fundamentales.

A través de una secuencia didáctica, dirigida a los alumnos de un profesorado de Física, se recreará el método de Roemer, utilizando herramientas de software para comprender sus aspectos más destacados.

Palabras clave: Luz, medición, magnitud, eclipse, Roemer

* Universidad Nacional de Tres de Febrero.

I. Fundamentación

Este trabajo fue pensado para ser abordado en la asignatura Astronomía II, correspondiente al cuarto año del Profesorado de Física, del Instituto Héctor Medici, El Palomar. En el mismo, nos proponemos utilizar la historia de la Astronomía como estrategia motivacional, para valorar las posibilidades que posee como integradora de saberes, mostrando cómo se llegó a la determinación de la velocidad de la luz, de manera fortuita.

El recorte histórico nos remite a un problema a resolver de índole cartográfico: localizar longitudes en el mar, cuestión crucial para la navegación en el siglo XVI, por una creciente mortandad debido a naufragios.

En 1676 Ole Roemer produjo un cambio paradigmático en el escenario científico de la época: demostró que la luz poseía una velocidad finita.

Como sabemos, la velocidad de la luz afecta las observaciones astronómicas. En efecto, dado que la luz viaja a una velocidad finita, cuando observamos objetos celestes, la luz que emana de ellos ha tardado tiempo en llegar hasta nosotros, y en realidad, estamos viendo cómo eran en el pasado.

A partir de este hecho histórico relevante podemos conseguir aprendizajes significativos, a través de una selección de secuencias didácticas que serán resueltas desde la Física Fundamental, la Física Aplicada y la Tecnología.

Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs) proporcionan herramientas de software para su uso en el aula. El programa Stellarium (Chéreau, 2004) permite simular los movimientos de objetos astronómicos en el cielo. Usando este instrumento como posibilidad didáctica, aportaremos a la comprensión de problemas abstractos para darles un encuadre concreto.

II. Objetivos generales

- Comprender la evolución histórica de la Astronomía: explorar cómo la percepción y el conocimiento sobre los astros han cambiado a lo largo del tiempo.

- Valorar la importancia de la Astronomía como disciplina integradora: destacar cómo conecta diferentes áreas del saber, como la historia, la física, la matemática y la tecnología.
- Motivar el interés por la ciencia y la exploración del cosmos: utilizar hechos históricos para inspirar a los estudiantes a explorar más allá de nuestro planeta.
- Ejercitar destrezas en el abordaje de temas complejos.
- Integrar la tecnología como herramienta de aprendizaje.

III. Objetivos específicos

Analizar los hitos históricos en la determinación de la velocidad de la luz:

- Estudiando los experimentos y descubrimientos que llevaron a la estimación de la velocidad de la luz.
- Relacionando hitos astronómicos relevantes con los avances en la tecnología y la comprensión científica.
- Diseñar secuencias didácticas basadas en la historia de la Astronomía:
- Creando actividades que exploren conceptos astronómicos desde la Física Fundamental (como la ley de gravitación universal de Newton).
- Integrando la Física Aplicada (óptica y mecánica celeste) en las secuencias didácticas.
- Utilizando las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs) para visualizar datos astronómicos y simular observaciones, como por ejemplo Stellarium.

IV. Introducción

A lo largo de la historia las propiedades de la luz fueron un tema de discusión particularmente su velocidad, considerada por mucho tiempo como instantánea o infinita. Diferentes estudiosos, sumaron sus esfuerzos para calcular la magnitud de la velocidad de la luz a través de varios experimentos.

En este trabajo queremos destacar cómo se llega a la determinación de la velocidad de la luz de manera fortuita.

El problema para resolver en aquel momento era localizar longitudes en el mar, para tratar de reducir la cantidad de naufragios. Utilizando la observación simultánea del mismo eclipse de una luna por su planeta anfitrión, desde dos lugares distintos de la Tierra, se logró obtener la diferencia de longitud geográfica de esas ubicaciones.

Roemer encontró que la ocurrencia horaria de ese evento variaba durante el año, dependiendo de la posición relativa que tuvieran la Tierra, el Sol y Júpiter. Así comprobó que la luz debía recorrer una distancia mayor, cuando la Tierra estaba más alejada y esto determinaba una diferencia de tiempo.

En este contexto, se realizará una recreación de la experiencia de Roemer para la medición de la velocidad de la luz.

V. Desarrollo

El docente expondrá a los alumnos el marco teórico y brindará definiciones sobre términos astronómicos a medida que vayan surgiendo en el relato, acompañadas de contenido audiovisual que permita comprender los conceptos más abstractos. Por ejemplo: se usará este método para mostrar la ocultación del satélite Ío por parte del planeta Júpiter y los desplazamientos en sus respectivas órbitas de la Tierra y Júpiter alrededor del Sol.

A partir del uso del simulador Stellarium, el cual todos los alumnos deberán tenerlo instalado en su celular, el docente dará indicaciones para que cada uno pueda lograr las actividades planteadas en la secuencia didáctica. Por ejemplo, visualizar la posición de objetos celestes en sus celulares, localizar el planeta Júpiter y su satélite Ío, recrear sus movimientos, etc.



Como dinámica se procederá a formar grupos de 5 integrantes. Basados en el marco teórico, realizarán las actividades propuestas con las herramientas informáticas propuestas, resolviendo los cálculos de manera práctica.

Al final, se dará una puesta en común en el pizarrón, para que de esta forma se logre un aprendizaje colaborativo y significativo, y al mismo tiempo haya una coevaluación.

VI. Términos y definiciones

Los siguientes términos y definiciones fueron extraídos del Glosario Astronómico del Planetario “Galileo Galilei” (CABA, Argentina):

- **Planeta.** Cuerpo en órbita alrededor del Sol. Los planetas interiores tienen sus órbitas entre el Sol y la Tierra. Los exteriores circulan alrededor del Sol después de la órbita de la Tierra. Suelen tener satélites girando a su alrededor.
- **Conjunción.** Posición de un planeta que se ubica alineado visualmente con el Sol. Cuando un planeta exterior (Júpiter, por ejemplo) está en conjunción, ocupa su punto orbital más alejado de la Tierra. Sólo los planetas interiores (Mercurio y Venus) pueden estar en conjunción “inferior”, es decir, cuando están alineados entre la Tierra y el Sol. Por otra parte, cuando esos mismos planetas están del otro lado del Sol se habla de conjunción “superior”.
- **Oposición.** Alineación de un planeta exterior con la Tierra en el momento en el que se encuentra opuesto al Sol, con respecto a nuestro planeta.
- **Eclipse.** Cubrimiento total o parcial de un astro por otro. Ejemplo: un eclipse de Sol ocurre cuando la Luna se interpone entre nuestra estrella y la Tierra. También ocurre un eclipse cuando la sombra de un planeta, oculta una de sus lunas. Sinónimo: ocultación

VII. El reconocimiento fortuito de la existencia del valor de la velocidad de la luz a partir de la medición de eclipses para determinar longitudes en el mar

Galileo, descubridor de los cuatro principales satélites de Júpiter, fue el primero en proponer utilizar su movimiento como un reloj natural y universal que permitiera situarse en longitud en el globo terráqueo. La longitud es una medida angular que indica la distancia este-oeste desde un punto de referencia. Se suponía que este método serviría para la localización de longitudes en el mar, una cuestión crucial en la era de la navegación transoceánica. Desafortunadamente, nunca pudo usarse de manera efectiva debido a la falta de un dispositivo de observación adecuado (Beaubois, 2018). Este tema será retomado más tarde por Cassini.

A principios del siglo XVII, dos de los más importantes científicos de ese entonces, Johannes Kepler y René Descartes, habían sostenido que la propagación de la luz era instantánea y que, por consiguiente, su velocidad era infinita. El prestigio de la física de Descartes, la más importante antes de Isaac Newton, había convencido a la mayor parte de los científicos de la Europa continental (Beaubois, 2018).

Sin embargo, Galileo consideraba que la propagación de la luz no era instantánea, y se le atribuye que “en 1638, realizó el primer intento de medir la velocidad de la luz. Él y un ayudante sostenían lámparas que tapaban y destapaban a voluntad. Ubicados a bastante distancia, uno de ellos destapaba su lámpara y, en cuanto el otro veía la luz, destapaba la suya.



Figura 1. Experimento de Galileo. Imagen ilustrativa publicada en 2015 en cienciahoy.org.ar por Alejandro Cassini.

Dividiendo dos veces la distancia que los separaba por el tiempo transcurrido desde que el primero destapaba su lámpara hasta que recibía la luz del otro, se obtenía la velocidad de la luz. Galileo escribió del experimento: Si no es instantánea, al menos es velocísima. No es una sorpresa, dado que para arrancar y parar el reloj utilizamos alrededor de una décima de segundo, Galileo y su ayudante deberían haber estado separados unos 15.000km (más de un tercio del perímetro de la Tierra en el ecuador) para notar algún efecto” (Cassini, 2015).

“Gracias a Christian Huygens, que en 1657 acababa de desarrollar su reloj de péndulo, el estudio de los eclipses de los satélites jovianos fue retomado en 1664 por Jean-Dominique Cassini para elaborar tablas astronómicas más precisas y realizar así mediciones geográficas menos defectuosas. Para ello, Cassini presentó su método para determinar las diferencias de longitud en la Tierra mediante la observación simultánea del mismo eclipse en dos lugares” (Beaubois, 2018).

Mediante el método Cassini, en 1667 los astrónomos de la Academia de París buscaron determinar la diferencia de longitud entre París y el desaparecido observatorio Tycho Brahe en Hveen, Dinamarca (Observatorio de Uraniborg). Para poder utilizar correctamente las antiguas observaciones de Tycho Brahe, Jean Picard fue encargado de visitar Uraniborg, mientras Cassini permanecía en el Observatorio de París para observar al mismo tiempo las ocultaciones de Ío (Beaubois, 2018). En Uraniborg Picard tuvo como ayudante al astrónomo danés Ole Roemer, quien ya trabajaba para el rey de Dinamarca, revisando y copiando las observaciones de Tycho Brahe (Beaubois, 2018).

VIII. Metodo de Roemer – Hallazgo de la existencia de la velocidad de la luz

“En 1676 Roemer, observó que el eclipse de Ío, una de las lunas de Júpiter, se retrasaba a medida que la Tierra se alejaba de Júpiter y se adelantaba al acercarse. Tomando como criterio que las velocidades orbitales de las lunas de Júpiter no podían depender de la distancia a la Tierra dedujo que el cambio en las velocidades se debía a la distancia mayor que la luz debía recorrer cuando la Tierra estaba más alejada” (Cassini, 2015).

O sea, tardaba más cuando la Tierra y Júpiter estaban más separados.

Al igual que Cassini, Roemer se dio cuenta de que la duración de la revolución del satélite era más corta, medida a partir de ocultaciones, que obtenida a partir de las emersiones, y esto independientemente de la posición de Júpiter en su órbita (Beaubois, 2018).

Tenemos en el planteamiento del experimento de Roemer lo siguiente: el punto A representa al Sol, el punto B a Júpiter y el punto C a su primer satélite (Ío) que se mueve en dirección a la sombra de Júpiter y después aparecerá otra vez de la sombra en el punto D, mientras que E, F, G, H, L y K denotan la localización de la Tierra en diferentes puntos de la órbita alrededor del Sol.

Se manifiesta que, si la luz necesita un tiempo para recorrer la distancia LK, el satélite será visto más tarde en D que si la Tierra hubiera permanecido en K, de modo que la revolución de este satélite, así observada por las emersiones, se retrasará tanto tiempo como habrá demorado la luz en pasar de L a K, y que por el contrario las revoluciones de las ocultaciones aparecerán tanto más acortadas, como las de las emersiones parecían alargadas (Beaubois, 2018).

“Roemer propone que estas desigualdades se atribuyen al hecho de que la luz necesita tiempo para cruzar el intervalo adicional LK debido al movimiento de la Tierra durante las revoluciones del satélite” (Beaubois, 2018).

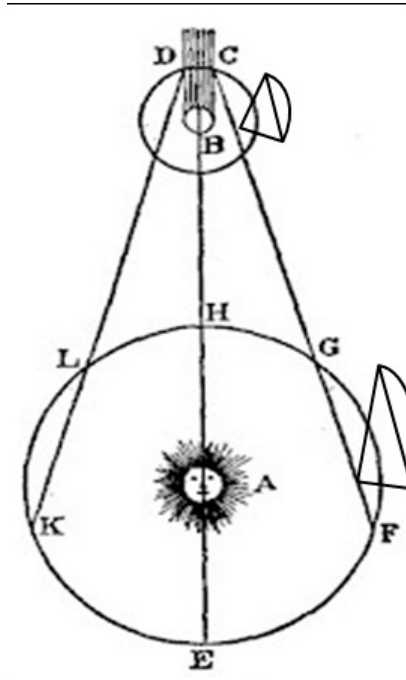


Figura 2. Ilustración de Ole Roemer, en su artículo de 1676 sobre la medición de la velocidad de la luz. Posiciones del Sol, la Tierra y Júpiter.

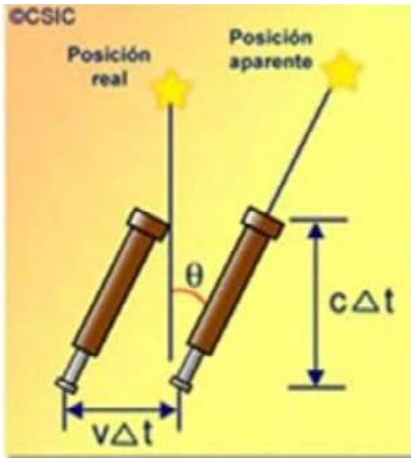
Fuente Wikipedia. Se agregaron flechas para indicar el sentido de las órbitas

En lugar de concluir a una velocidad infinita, como Descartes dedujo del análisis que había hecho del estudio de un eclipse lunar, Roemer sugiere aumentar el número de revoluciones observadas, cuyo acumulado permita obtener un tiempo perfectamente mensurable. Llega así al resultado crucial de que la luz tarda 22 minutos en cruzar el diámetro de la órbita terrestre y, por tanto, que la luz tiene un “movimiento sucesivo”, y no instantáneo (No quedan evidencias de cómo obtuvo estos 22 minutos; hoy sabemos que el valor aproximado es 16,5 minutos). Pero en ningún momento entrega un valor numérico de esta velocidad (Beaubois, 2018).

¿Por qué? Mirando la literatura, vemos que se dan varias razones: debido a que la importancia de la demostración residía únicamente en el hecho de que la velocidad era finita, o que el diámetro de la órbita de la Tierra sólo se conocía con una gran imprecisión, resultaba inútil deducir un valor para la velocidad de la luz; o bien porque la velocidad parecía inconcebiblemente grande. Cualquiera que sea la verdadera razón, el hecho es que Roemer nunca propuso un valor para la velocidad de la luz, en el sentido en que la entendemos ahora (Beaubois, 2018).

IX. Polémica de Cassini-Roemer

Cuando Cassini estableció sus tablas, se dio cuenta de que los períodos de los satélites contenían desviaciones de una regularidad que se suponía se derivaba de las leyes de Kepler. Además de una primera irregularidad debida a la excentricidad de la órbita de la Tierra y Júpiter, detectó una segunda en agosto de 1675, y propuso una explicación en términos de “movimiento sucesivo de la luz”, es decir, suponiendo una velocidad finita de la luz. Esta desigualdad “parece”, dice, “provenir del hecho de que la luz tarda algún tiempo en llegar desde el satélite hasta nosotros, y que tarda aproximadamente de diez a once minutos en recorrer un espacio igual a la mitad del diámetro de la órbita terrestre” (Beaubois, 2018). Pero luego pensó que no se debía a eso sino a que había una falta de exactitud en las medidas. Mientras, Roemer comprobó que se trataba de que existía una distancia mayor que la luz debía recorrer cuando la Tierra estaba más alejada y esto determina una diferencia de tiempo. El logro de Roemer no fue aceptado universalmente hasta el descubrimiento de Bradley de la aberración de las estrellas.



Aberración de la luz

Es la inclinación necesaria para que el rayo de luz que entra por la apertura del telescopio alcance su fondo

Figura 3. HeyserCoronel. Medidas de La Luz. <https://es.slideshare.net>. Imagen del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España.

“El físico inglés James Bradley en 1728, estudiando la paralaje de la estrella Gamma Draconis, observó un desplazamiento de la posición de la estrella con la época del año que no era consistente con la idea de paralaje (cambio de posición aparente en la esfera celeste debida al cambio de posición de la Tierra después de seis meses). Propuso que la observación respondía al cambio de posición y velocidad de la Tierra y al hecho de que la luz de la estrella tenía una velocidad finita. Denominó al efecto aberración estelar (analogía con la lluvia) y resultó, aproximadamente, igual al cociente entre la velocidad de la Tierra en su órbita y la velocidad de la luz” (Cassini, 2015).

“Bradley conocía la velocidad de la Tierra alrededor del Sol y podía medir las aberraciones estelares. Concluyó que la luz tardaba 8 minutos y 12 segundos en atravesar el radio de la órbita terrestre, pero, al igual que Roemer, no ofreció ningún valor numérico para la velocidad de la luz. El tiempo calculado por Bradley es extraordinariamente preciso y sólo difiere en 7 segundos del valor actual. La velocidad de la luz que resulta utilizando los datos actuales para el radio terrestre es de 304.060 km/s” (Cassini, 2015).

“En 1849 el físico francés Armand Fizeau hizo con la luz lo que se hace para medir velocidades balísticas. La hizo pasar por una rueda dentada, viajar 8,63 km, reflejarse en un espejo y volver a la rueda en el mismo lugar. Para una rueda con 100 indentaciones, por ejemplo, que gire a 100 revoluciones por segundo, un diente ocupa el lugar del anterior luego de 0,1m/s. Cuando la luz reflejada se bloquea al aumentar la velocidad de la rueda, algo que deduce a partir de la interferencia con la luz incidente, significa que la distancia recorrida ida y vuelta dividida por el tiempo que le lleva a un engranaje tapar a la reflejada corresponde a la velocidad de la luz. Fizeau, curiosamente, expresó el valor en unidades antiguas: 70.948 leguas de 25 por grado por segundo, pero de sus datos se infiere un valor exacto de 313.274 km/s, una velocidad que, según sus propias palabras, es un poco diferente de la que es admitida por los astrónomos” (Cassini, 2015).

*El ángulo de la inclinación del paraguas para no mojarme
depende de la razón de mi velocidad a la de la lluvia*



Figura 3. Heyser Coronel. Medidas de La Luz. es.slideshare.net.
Ilustración de EIMundo.es

Entonces en el primer tercio del siglo XVIII, la finitud de la velocidad de la luz ya no estaba en duda y su valor aceptado rondaba los 300.000 km/s. El valor aceptado hoy para la velocidad de la luz en el vacío es 299.792 km/s (NIST).

X. Actividades para trabajar en el aula

Previo a realizar la actividad y como material de apoyo, se propone visualizar el siguiente link <https://www.youtube.com/watch?v=m3WY-FY9GmRo> y reflexionar:

- a. A lo largo de la historia ¿qué métodos se han utilizado para medir la luz? Comentar en que consistían y representarlos gráficamente.
- b. ¿Cómo plantearías el cálculo matemático para determinar la velocidad de la luz con los datos determinados por Roemer?
- c. ¿Cómo hoy se calcula la velocidad de la luz?

Secuencia didáctica: Recreación de la experiencia de Roemer para medición de la velocidad de luz.

Objetivos

1. Hacer una identificación de aspectos astronómicos, sobre las posiciones de oposición y conjunción, entre la Tierra, el Sol y Júpiter. Definir qué es un eclipse de Ío.
2. Recrear cómo fueron las mediciones de tiempos de Roemer comparadas con las efemérides realizadas por Cassini.
3. Visualizar cuándo se da la ocultación y la emersión de Ío, a través de la aplicación Stellarium desde el celular.
4. Verificar numéricamente que cada vez tarda más dicha luna en surgir de la sombra proyectada por el planeta, de modo que cuando haya transcurrido medio año, en el que la Tierra recorrió 180° y Júpiter los $15,18^\circ$ de sus respectivas órbitas, se llega a constatar un retraso global de 900 segundos con respecto al periodo inicial de Ío, en la situación de oposición. Con este valor y la diferencia entre las distancias de

oposición y conjunción, podemos calcular la velocidad de la luz. Tratar de analizar estos valores desde su ubicación astronómica con el Stellarium y con apoyo de diagramas en el pizarrón

Marco teórico que servirá de apoyo en nuestra tarea

“De los cuatro satélites galileanos, Ío, Ganímedes, Europa y Calisto, es el primero el que orbita más próximo al gigante gaseoso, con un radio medio orbital dado por $r_{io} = 4,216 \times 10^8 m$, y un movimiento que se desarrolla en el mismo plano en el que se mueve Júpiter en su órbita alrededor del Sol” (Chinea, 2013).

“El planeta Júpiter tiene, en su órbita alrededor del Sol, un radio orbital aproximado dado por $r_j = 5,203 UA$, y un periodo $P_j = 11,86 años$. El radio del planeta es de $R_j = 71398 km$ y su masa de $M = 1,901 \times 10^{27} kg$ ” (Chinea, 2013).

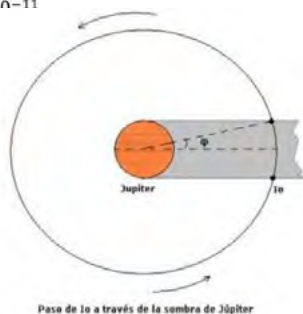
Nuestro planeta, la Tierra, tiene asimismo un radio orbital de 1 UA y un periodo de 365,2 días ($r_T = 1 UA$, $P_T = 365,2 días$). Con estos datos podemos determinar la velocidad, periodo, etc. de Ío en su movimiento alrededor de Júpiter. Si M es la masa de Júpiter, la velocidad de Ío se obtiene de forma inmediata:

$m \frac{v^2}{r_{io}} = G \frac{Mxm}{r_{io}^2} \rightarrow v = \sqrt{\frac{GM}{r_{io}}}$, y esto nos permite obtener su periodo orbital:

$$v = \frac{2\pi r_{io}}{P_{io}} \rightarrow P_{io} = \frac{2\pi r_{io}}{v} = 2\pi \sqrt{\frac{r_{io}^3}{GM}} = 2\pi \sqrt{\frac{(4.216 \times 10^8)^3}{6,67 \times 10^{-11}}}$$

$$= 152748,4 seg = 1,769 días$$

Periodo orbital de Ío: 152748,4 segundos
(Chinea, 2013).



“La luz incidente del Sol sobre la esfera del planeta Júpiter proyecta una sombra que es atravesada por Ío en su órbita alrededor del planeta. El ancho de esta sombra coincide con el diámetro del planeta” (Chinea, 2013), como vemos en la figura contigua, donde está representado por el ángulo 2φ el cual se puede calcular como sigue:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{R_j}{r_{io}} \rightarrow \varphi = \arctg \left(\frac{R_j}{r_{io}} \right) = \arctg \left[\frac{7,1398 \times 10^7}{4,216 \times 10^8} \right] = 0,1678$$

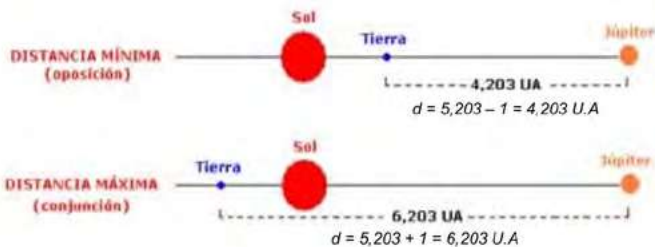
Podemos determinar el tiempo t que tarda Ío en atravesar la sombra, mediante una proporción con el periodo orbital de Ío:

$$\frac{t}{P_{io}} = \frac{2\varphi}{2\pi} \rightarrow t = \frac{P_{io}}{2\pi} 2\varphi = \frac{1,769 \times 24 \times 60 \times 60}{2\pi} \times 2 \times 0,1678 = 8164 \text{ s} = 136,07 \text{ min} = 2,27 \text{ hs}$$

(Chinea, 2013)

Distancia entre la Tierra y Júpiter

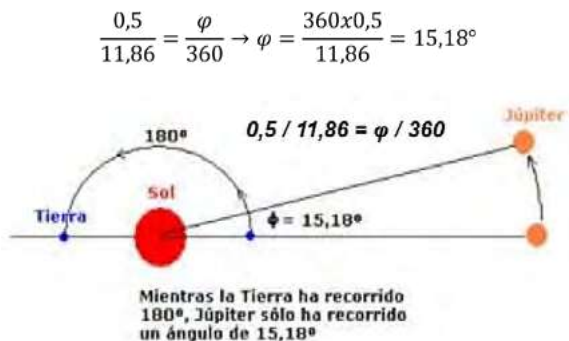
“Puesto que nuestro planeta dista del Sol una unidad astronómica (1 UA), mientras que Júpiter dista del Sol 5,203 UA, resulta que la menor distancia entre la Tierra y Júpiter corresponde a la situación en la que Júpiter se encuentra en oposición, ya que en este caso tal distancia será $d_{Tj} = 5,203 - 1 = 4,203$ UA. La mayor distancia corresponde al caso en el que Júpiter esté en conjunción, situación en la que tal distancia sería $d_{Tj} = 5,203 + 1 = 6,203$ UA. La distancia d entre ambos astros, es, por consiguiente, $4,203 \text{ UA} \leq d \leq 6,203 \text{ UA}$ ” (Chinea, 2013).



SITUACION DE DISTANCIA MÍNIMA Y DE DISTANCIA MÁXIMA ENTRE LOS PLANETAS TIERRA Y JÚPITER

Situación de los planetas Tierra y Júpiter medio año después de la situación de oposición:

“Medio año después de la situación en la que la distancia es mínima (oposición) la Tierra ha recorrido la mitad de su periodo orbital, esto es, se ha desplazado recorriendo un ángulo de 180° , mientras que Júpiter, cuyo periodo es mucho más largo, habrá recorrido un ángulo φ , menor, que podemos determinar de manera sencilla, como la proporción entre 0,5 años (Tierra) y 11,86 años que es el periodo de tiempo en el que el planeta gaseoso (Júpiter) recorre 360° ” (Chinea, 2013).



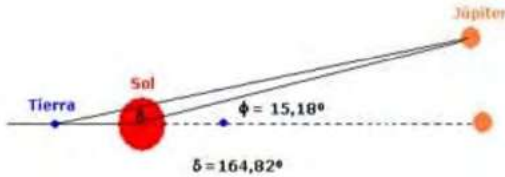
“Durante todo este tiempo, que emplea Júpiter en moverse dentro de su órbita un ángulo de $15,18^\circ$ y la Tierra un ángulo de 180° , un observador situado en nuestro planeta vería a Ío surgir desde la sombra de Júpiter, aunque no le vería en el momento de su entrada en la zona de sombra, pues se lo impide la posición intermedia de Júpiter” (Chinea, 2013).

“Si bien en la situación inicial de oposición el periodo de Ío observado es de 152748,4 segundos, a medida que la Tierra se va alejando de Júpiter el observador que mide los instantes en que Ío surge desde la sombra de Júpiter en sus sucesivas órbitas alrededor del planeta, observa que la diferencia de tiempos va aumentando, esto es, que cada vez tarda más dicha luna en surgir de la sombra proyectada por el planeta, de modo que cuando ha pasado el medio año en el que la Tierra ha recorrido los 180° y Júpiter los $15,8^\circ$, se llega a constatar un retraso global con respecto al periodo inicial de Ío en la situación de oposición, de unos 990 segundos. Si esos

990 segundos de retraso se deben a que al alejarse cada vez más la Tierra la luz tarda más en llegar, bastará encontrar la distancia entre la Tierra y Júpiter en este momento para poder calcular la velocidad de la luz, pues si encontramos que la distancia entre ambos planetas en la fase de oposición era la mínima, 4,203 UA, y ahora encontramos que la distancia es d , la velocidad de la luz se calcularía como el cociente de dividir la variación de distancia por la variación de tiempo:

$$c = \frac{d - 4,203}{990}$$

Veamos, por consiguiente, cómo calcular la distancia entre ambos planetas cuando ha pasado medio año desde la situación de oposición. En el triángulo Tierra-Sol-Júpiter se conocen dos lados y el ángulo comprendido entre ambos lados: lado Tierra-Sol, $TS=1$ UA, lado Sol-Júpiter, $SJ=5,203$ UA, ángulo δ comprendido = suplementario de ϕ " (Chinea, 2013).



Aplicando a dicho triángulo el teorema del coseno, podemos hallar la distancia d entre la Tierra y Júpiter:

$$d^2 = TS^2 + SJ^2 - 2 \times TS \times SJ \times \cos \delta$$

y obtenemos:

$$d^2 = 1^2 + 5,203^2 - 2 \times 5,203 \times \cos(164,82) = 28,0712 + 10,406 \times 0,965290 = 38,1160$$

resultando que es $d = 6,174$ UA

será, como hemos indicado antes:

$$c = \frac{d - 4,203}{990} = \frac{6,174 - 4,203}{990} = \frac{1,917 \text{ UA}}{990 \text{ s}} = \frac{1,917 \times 15 \times 10^7 \text{ km}}{990} \frac{\text{km}}{\text{s}} = 2,98636 \times 10^5 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

(se ha redondeado el valor de la unidad astronómica en 150 millones de kilómetros: $1 \text{ UA} = 15 \times 10^7 \text{ km}$)" (Chinea, 2013).

XI. Conclusiones

Con este trabajo se pretende que el alumno de profesorado conozca algunos métodos usados en diferentes momentos históricos para lograr discernir una de las constantes fundamentales de la Física, la velocidad de la luz.

Conocer la magnitud de la velocidad de la luz resultó esencial para estudiar los objetos del cielo, determinar su distancia, desplazamiento, magnitud real, entre otras características.

Al relatar cómo se logró descubrir algo tan elusivo, vemos cómo la ciencia evoluciona en la manera de abordar los problemas, propiciando la aparición de nuevas herramientas y métodos, para obtener información del mundo que nos rodea. A su vez su accionar, genera cambios en toda la sociedad.

Con ello se busca motivar a los futuros profesores, a investigar y generar Proyectos para llevarlos a la práctica en sus aulas.

Si bien no hay recetas para elaborar estrategias, podemos reflexionar como docentes, lo expresado por el pedagogo Víctor Flores: “Apreciar la situación a partir de las perspectivas de todos los actores. Proponer objetivos que estén al alcance de los recursos disponibles. Conocer lo que puede aportar cada uno de los actores. Prepararse ante la incertidumbre en lugar de hallarse en el lugar de las certezas” (Flores, 1993).

Referencias

- Beaubois, F. (2018). Roemer y la velocidad de la luz. *BibNum, textes fondateurs de la science*.
- Cassini, A. P. (2015). Un experimento crucial de Galileo sobre la velocidad de la luz. *Ciencia Hoy*, ISSN: 1666-5171, Volumen 24, número 143, 45. Obtenido de <https://cienciahoy.org.ar/un-experimento-crucial-de-galileo-sobre-la-velocidad-de-la-luz/>
- Chéreau, F. (22 de noviembre de 2004). *Stellarium*. Obtenido de <https://stellarium.org/es/>



China, C. (2013). *La medición de la velocidad de la luz por Röemer*. Obtenido de <http://casanchi.org/fis/roemerluz01.pdf>

Flores, V. (1993). *Principios básicos para el diseño de estrategias. Curso de Capacitación y Actualización para Planificadores de la Educación*. Obtenido del Instituto Superior de Formación Docente y Técnico Profesional Vinchina, La Rioja, Argentina: https://ifdvinchina-lrj.infed.edu.ar/sitio/wp-content/uploads/2020/09/GSTN_Flores_Unidad_5.pdf

Nist, N. I. (s.f.). *Fundamental Physical Constants*. Obtenido de <https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?c>

Planetario Galileo Galilei, B. A. (s.f.). *Glosario Astronómico. Versión V2-RC1*. Obtenido de <https://planetario.buenosaires.gob.ar/glosario-astronomico>



Natureza sublunar e harmonias celestiais no Livro IV da Harmonia do mundo de Kepler

Anastasia Guidi*

Resumo

Neste artigo exploro um texto central, ainda que pouco estudado, para a compreensão dos mecanismos causais presentes na astronomia física de Kepler: o Livro IV daquela que o próprio astrônomo considerava a sua obra mais importante, a Harmonia do mundo. Partindo da distinção entre harmonia sensível e harmonia arquetípica proposta pelo autor, procurarei trazer à tona passagens que podem lançar luz sobre o papel das almas na teoria kepleriana das harmonias. Em seguida, tratarei brevemente e de maneira ainda introdutória de outros tipos de harmonia para além da musical, especialmente as arquetípicas, pré-existentes na alma, para, ao final do artigo, considerar o papel das almas planetárias na astronomia kepleriana. Embora seja usual distinguir, na obra de Kepler, as explicações baseadas em harmonias daquelas baseadas em forças que agem à distância, como a força motriz solar, o Livro IV da Harmonia do mundo indica que pode ser possível afirmar que os dois tipos de explicação baseiam-se em um mesmo arcabouço conceitual acerca da natureza dos planetas, um ponto que merece mais atenção nos estudos futuros sobre o papel da causalidade na astronomia kepleriana.

Palavras-chave: heliocentrismo; harmonia; causalidade; almas planetárias; astronomia física

Abstract

In this article I explore a text which is central for the understanding of causal mechanisms operating in Kepler's physical astronomy: Book IV of the Harmony of the world, a work that, albeit not much studied, was considered by the astronomer his most accomplished opus. Starting with the

* Universidade Federal do ABC, Brasil.

distinction between sensible and archetypical harmonies, I shall attempt to highlight passages which might help understand the role of souls in the keplerian theory of harmonies. Next, I briefly and in an introductory manner deal with other kinds of harmony, especially those archetypical harmonies which pre-exist in souls, in order to, in the final section of the article, consider the role of planetary souls in keplerian astronomy. Although it is usual to distinguish, in Kepler's works, explanations based on forces acting at a distance, such as the solar force, from those based on harmonies, Book IV of the Harmony of the world shows it could be possible to ascertain, at least to some extent, that both kinds of explanation are based on a single conceptual framework on the nature of planets, a theme which deserves further attention in future studies regarding the role of causality in Keplerian astronomy.

Keywords: heliocentrism; harmony; causality; planetary souls; physical Astronomy

*As harmonias eram tão familiares a Shevek quanto a qualquer urrasti.
Odo não tentara renovar as relações básicas da música quando renovou
as relações dos homens. Ela sempre respeitara o necessário.
Os colonos de Anarres deixaram as leis do homem para trás,
mas levaram consigo as leis da harmonia.*

Ursula le Guin, Os despossuídos

A Harmonia do Mundo de Kepler é um texto singular, onde podemos apreciar toda a abertura metodológica a que o astrônomo, já maduro e sem precisar prestar contas a Maestlin ou Tycho Brahe, se permite ao investigar a estrutura matemática do mundo heliocêntrico. Ainda pouco estudada em comparação com outros textos de Kepler como a Astronomia nova e o Mistério cosmográfico, a Harmonia do mundo expressa, talvez melhor do que qualquer outro livro publicado no período, aquela discussão sobre fundamentos, métodos e problemas relevantes que Thomas Kuhn considera típica dos períodos de mudança de paradigma, no caso aquele que se situa entre a publicação do De Revolutionibus de Copérnico e a formulação da síntese newtoniana.

Publicada em 1619, a *Harmonia do mundo* é composta de cinco livros e termina com uma análise harmônica dos movimentos dos planetas, onde Kepler chega àquela que ficaria conhecida como a sua terceira lei, que relaciona os períodos dos planetas às suas distâncias médias até o Sol. No presente trabalho, começo a delinear um estudo que deve ainda ser desenvolvido e aprofundado do Livro IV, um dos textos mais filosóficos escritos pelo astrônomo, dedicado à essência ou natureza das harmonias e às faculdades dos astros que os tornam sensíveis a elas. Proponho que este capítulo é importante, entre outros motivos, porque nos permite entrever a conexão entre os dois tipos de explicação causal operantes na astronomia física (ou física celeste) kepleriana, as forças que agem à distância, como a força solar e o magnetismo da Terra, e as harmonias matemáticas. Esse recorte temático pretende somar-se a esforços empreendidos nas últimas décadas para investigar o papel de Kepler no estabelecimento de uma astronomia física¹, baseada em causas, rompendo com a dicotomia aristotélica que restringia a física ao domínio do eternamente cambiante mundo terrestre, enquanto a astronomia, descritiva, seria um ramo das matemáticas. Afinal, para os astrônomos que, como Kepler, adotavam o sistema de Copérnico a partir de uma perspectiva realista (o que não aconteceu nos anos imediatamente posteriores à publicação do *De Revolutionibus*, nos quais prevaleceu a interpretação instrumentalista proposta por Osiander)², a Terra movia-se no céu, e uma distinção metodológica entre os mundos terrestre e celeste já não fazia mais sentido.

Logo no início do Livro IV, Kepler estabelece que a harmonia pertence à categoria da relação: “como a harmonia musical não é um som, mas um ordenamento entre vários sons, segue daí que ela pertence à categoria das relações.” (Kepler, 1997, p. 290). As harmonias musicais são constituídas de três elementos: os dois sons que mantêm uma relação harmônica entre si e a alma que os compara e estabelece essa relação. Harmonias não existem, portanto, senão em uma alma. Em termos aristotélicos, os sons correspondem à matéria das harmonias musicais, e a alma que os compara ativamente corresponde à sua forma.

As harmonias sensíveis podem ser musicais mas também podem se dar entre dois raios luminosos, e neste caso são chamadas aspectos, se-

¹ Ver, por exemplo, Stephenson, 1987 e Martens, 2000.

² Cf. Liscia, 2007, pp. 738-740.

guindo a nomenclatura da tradição astrológica. Kepler em seguida estabelece uma distinção entre harmonias sensíveis e arquetípicas:

Pois as harmonias sensíveis têm isto em comum com aquelas arquetípicas, que elas demandam termos e a comparação entre eles, uma atividade da própria alma: a essência de ambas consiste nesta comparação. Mas os termos das harmonias sensíveis são sensíveis, e devem estar presentes fora da alma: os termos das harmonias arquetípicas estão presentes na alma previamente. Portanto, as harmonias sensíveis precisam adicionalmente ser recebidas através de uma emanção (...) (Kepler, 1997, p. 305).

A teoria kepleriana das harmonias é portanto mais ampla e genérica do que uma teoria das harmonias musicais; estas últimas pertencem ao conjunto das harmonias sensíveis, ao lado das harmonias entre raios visuais. Anteriores a estas, as harmonias arquetípicas são pré existentes na alma, e delas depende a percepção das harmonias sensíveis. Indicarei a seguir, com o objetivo de apontar uma direção que pode ser trilhada em pesquisas futuras, que o tratamento harmônico dos movimentos dos planetas que culminará com a terceira lei depende dessa compreensão mais ampla e de uma concepção de cosmos onde os astros são animados no sentido de possuírem almas que, longe de serem as tábulas rasas da filosofia de Aristóteles, trazem em si os conteúdos matemáticos necessários à construção das harmonias. E mais: que as harmonias e suas partes são aquilo que há de divino no mundo criado.

Inicialmente, cabe indagar: em que consistem essas harmonias arquetípicas presentes a priori na mente? A importância do círculo no pensamento de Kepler é notável desde a ideia de força solar, que transmite aos planetas um movimento circular, até a análise que (curiosamente) culmina na descoberta da forma elíptica das órbitas planetárias na Astronomia nova, passando pela óptica e pelo estudo das formas geométricas observadas no mundo terrestre, como a forma hexagonal dos flocos de neve. Em geral, Kepler parte da ideia de que a esfera corresponde a Deus e o círculo, corte da esfera, é aquilo que há de divino no mundo criado e, especialmente, no intelecto humano. Também aqui, na exposição sobre a essência das harmonias, o círculo vai fornecer a base para a sua compreensão, pois as harmonias arquetípicas, presentes desde sempre na mente, são estabelecidas pela razão entre o círculo e suas partes:

“Pois a harmonia pura é mais claramente diferenciada da harmonia concreta ou sensível pelo fato de que na harmonia pura os termos provêm de categorias matemáticas, o círculo e o arco, construído de uma certa maneira, pois o círculo tem sua forma e formato por si mesmo, e o arco tira seus termos de sua corda, e seu formato do círculo (...)” (Kepler, 1997, p. 295)

Assim, o círculo é o elemento unificador entre as explicações causais na astronomia kepleriana. A força solar é emitida esfericamente do Sol e imprime nos planetas um movimento circular, pois ela própria gira circularmente, acompanhando o movimento do Sol em torno de seu próprio eixo.³ Já as harmonias celestes, como todas as harmonias, sensíveis ou arquetípicas, dependem das proporções entre o círculo e suas partes ou divisões. E uma vez que as harmonias baseiam-se nas relações entre o círculo e suas partes, e como o círculo é uma seção transversal da esfera, há uma conexão íntima entre as almas, circulares, e o Deus esférico, “como um tipo de irradiação vertida da face divina para dentro do corpo e extraíndo daí sua natureza mais nobre.” (Kepler, 1997, p. 305)

Notar que as harmonias nos ajudam a compreender o papel do círculo na astronomia matemática de Kepler é algo que dialoga com a tradição interpretativa que valoriza a centralidade das explicações causais em seu pensamento e ainda pode render pesquisas interessantes no futuro. Para os objetivos deste artigo, é necessário que se principie por esclarecer quais são essas partes ou divisões do círculo que produzem as harmonias. Kepler esclarece que são os arcos resultantes da construção de polígonos regulares, inscritos no círculo: “sendo é claro arcos do círculo, de modo que algum lado de uma figura construtível o divida do círculo inteiro”. (Kepler, 1997, p. 296.) Essa passagem é central para a análise aqui proposta, porque nela Kepler retoma o tema dos polígonos regulares, muito importante no Mistério Cosmográfico (Kepler, 1992a) para fornecer um fundamento para as harmonias matemáticas. São harmônicos os intervalos que correspondem à proporção entre o círculo e um arco cortado pela inscrição de um polígono regular construtível, isto é, que possa ser

3 A atenuação da força solar com o inverso da distância difere da atenuação da luz, também emitida esfericamente, mas que se dá com o quadrado da distância. Stephenson (1987), dispensa bastante atenção a este tema, que é tratado também em um artigo meu (Itokazu, 2006).

inscrito com régua e compasso. A relação entre os termos, entretanto, sempre vai depender da presença de uma mente que os compare, tanto no caso das harmonias arquetípicas quanto naquele das harmonias sensíveis. “(...) será ainda mais importante localizar a harmonia, que ocorre entre aquelas partes, na mente, de modo que ela não tem sua essência fora dela, na medida em que sua essência consiste em alguma ação da mente naquelas species.” (HM, 296) Ora, se as harmonias irão determinar, no próximo livro da Harmonia do mundo, os períodos dos planetas em suas órbitas ao redor do Sol, neste trecho fica claro como a física que subjaz à astronomia kepleriana considera o Sol e os planetas como seres providos de mentes capazes de produzir essas harmonias.

Na Astronomia nova (Kepler, 1992b) tais reflexões haviam sido quase inteiramente deixadas de lado. Digo quase porque, nos capítulos que tratam das causas naturais dos movimentos planetários, as mentes e almas dos planetas são conceitos importantes no desenvolvimento do raciocínio. No Capítulo 39, por exemplo, uma mente planetária hipotética é capaz de enxergar o Sol no centro da órbita e o diâmetro aparente solar, além de fazer cálculos matemáticos envolvendo ângulos e distâncias (dadas pelo diâmetro aparente), enquanto uma alma planetária imprime velocidade ao corpo do planeta conforme determinado pela mente. Kepler conclui ali que seria necessário conceder faculdades extraordinárias à mente e à alma do planeta para que ele se movesse em um epiciclo sobre um deferente circular como preconiza a tradição da astronomia herdada de Hiparco e Ptolomeu. Mais adiante, no Capítulo 57, que também trata das causas físicas do movimento de Marte, já não no contexto de uma órbita circular, Kepler conclui que a alma pode ser substituída pela faculdade magnética do planeta (William Gilbert havia publicado o *De Magnete*, mostrando que a Terra é um grande ímã, em 1600), enquanto a mente poderia vir a se tornar supérflua devido ao caráter demonstrativo da elipse com o Sol em um dos focos, como determina a primeira lei, formalmente apresentada no capítulo seguinte. Mesmo aqui, porém, neste ponto culminante de sua astronomia matemática baseada nas observações de Tycho Brahe, Kepler continua a afirmar que “facilmente aceita a cognição perceptiva do Sol e das estrelas fixas” (Kepler, 1992b, p. 570). O opúsculo *Da neve hexagonal*, publicado em 1611 e portanto dois anos após a *Astronomia nova*, atribui à potência geometrizar da alma da Terra as formas geométricas dos flocos de neve, das colméias das abelhas e das flores, e na Harmonia

do mundo a música visual dos planetas será destinada à alma do Sol, ou de seus hipotéticos (e superiores a nós) habitantes. Em todo caso, a obtenção da terceira lei por Kepler depende da existência de uma ou mais almas no centro do sistema. Fica claro que as ideias apriorísticas e metafísicas do Mistério cosmográfico não foram abandonadas após Brahe tê-lo exortado a fazê-lo.

Voltando à Harmonia do mundo, o passo seguinte de Kepler neste primeiro capítulo do Livro IV consiste em investigar se o círculo e suas partes são inatos à mente humana ou se são apreendidos empiricamente, a partir da percepção das emanações, como a luz e o som, que constituem a matéria a partir da qual a alma produz as harmonias sensíveis. Isso corresponderia de fato a escolher entre um ponto de vista empirista, onde continuaria a valer a máxima aristotélica segundo a qual “todo conhecimento tem origem na experiência”, ou racionalista, segundo o qual os elementos constituintes das harmonias arquetípicas são inatos, isto é, preexistentes à experiência sensível. Como já indiquei no início deste ensaio, nosso astrônomo opta pela segunda opção. Uma longa passagem do Comentário de Proclus ao Livro I dos Elementos de Euclides é reproduzida por Kepler como um precedente notável para a sua teoria inatista do conhecimento geométrico:

“Então tudo o que é matemático encontra-se antes na alma, e antes dos números há os números que os colocam em movimento, e antes das figuras vistas há as figuras que as estimulam; e antes do consonante e do melódico existem as razões atuais das consonâncias, ou razões harmônicas, e antes dos corpos que são movidos em um círculo as órbitas invisíveis atuais foram estabelecidas (...)” (Proclus, Apud. Kepler, 1997, p. 301).

Kepler, entretanto, não segue Proclus quanto ao caráter inato do conhecimento dos números, negando-lhes as propriedades que lhes eram atribuídas pelos pitagóricos segundo Aristóteles, e alinhando-se com este último nesse ponto. Na Harmonia do mundo, o conhecimento inato é reservado aos objetos da geometria e, em particular, ao círculo e suas partes. As harmonias arquetípicas são portanto constituídas das razões entre os círculos e suas partes (arcos) cortadas pela inscrição de polígonos regulares, preexistentes na mente. E é a partir dessas harmonias arquetípicas que “resplandecem dentro da mente” (Kepler, 1997, p. 303) que ela é capaz de

constituir harmonias a partir de sons ou raios luminosos emanados de outros seres e apreendidos pelos órgãos dos sentidos. Kepler vai mais além ao considerar a precedência da mente com relação aos sentidos (no caso, o olho) na apreensão das formas geométricas:

Pois o reconhecimento das quantidades, que é inato na mente, dita qual deve ser a natureza do olho; e, portanto, o olho tem sido feito como ele é porque a mente é como ela é, e não o contrário. E por que gastar palavras? A geometria, que antes da origem das coisas era coeterna com a mente divina e que é o próprio Deus (pois o que poderia estar em Deus que não fosse o próprio Deus?), forneceu a Deus os modelos para a criação do mundo, e foi transmitida ao Ser Humano juntamente com a imagem de Deus, e não foi de fato assimilada através dos olhos. (Kepler, 1997, p. 304)

Para o que nos interessa mais diretamente aqui, a construtibilidade dos polígonos regulares⁴ com régua e compasso, ou seja, a possibilidade de inscrevê-los em um círculo, não é algo apreendido empiricamente, ou abstraído da experiência, mas é, antes, “clara para os olhos da mente” (Kepler, 1997, p. 204).

O Livro IV da Harmonia do mundo, talvez mais do que qualquer outro, nos mostra um Kepler que atua como mediador entre o neoplatonismo, o humanismo renascentista e os grandes sistemas filosóficos racionalistas do Século XVII, especialmente aquele de Leibniz. À proeminência dos polígonos regulares e sólidos pitagóricos no argumento, vem somar-se a importância de Proclus no texto, evidente uma vez que Kepler reproduz na íntegra o equivalente a quatro páginas (na edição de Aiton) de seu Comentário ao Livro I de Euclides. Por outro lado, Kepler se aproxima dos grandes sistemas racionalistas com seu empenho em conceber racionalmente um Deus Criador compatível com o heliocentrismo físico, onde o Sol é não apenas o centro geométrico, mas o centro dinâmico do cosmos - e também a expressão material mais imediata de Deus. É relevante que este texto tenha sido publicado quase dez anos após a Astronomia nova, onde as observações reunidas por Tycho Brahe e sua equipe em Uraniborg haviam desempenhado um papel tão central no complicado caminho

4 Segundo o teorema de Gauss-Wantzel, são construtíveis os polígonos de 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 16, 17, 20, 24, 30, 32, 34, 40, 48, 51, 60, 64, 68, 80 etc. lados. Kepler evidentemente não conhece a lei que gera as infinitas figuras construtíveis; ele constrói as figuras uma a uma, através de procedimentos tradicionais de inscrição em um círculo, no Livro I, e chega a um número finito de figuras que servirão de base para a sua análise.

que levou à lei das áreas e à descoberta da forma elíptica da órbita de Marte. Fosse na retomada e posterior reinterpretação do equante ptolomaico, na determinação da órbita da Terra, no estudo da variação contínua da velocidade do planeta em uma órbita excêntrica ou na consideração de como o magnetismo planetário poderia interagir com a força solar fazendo o planeta desviar de uma órbita circular perfeita, os dados de Brahe sempre serviram, na Astronomia nova, como pedra de toque. Erros de 8' não seriam admitidos. Ali, apesar dos trechos que citei acima, Kepler parecia caminhar em direção ao abandono dos argumentos inatistas do Mistério cosmográfico, que no entanto ressurgem aqui com força total, quando o tema volta a ser mais amplo, a saber, o cosmos tomado como um todo.

Até aqui, falei de mentes e almas planetárias de maneira mais ou menos intercambiável, seguindo a nomenclatura usada pelo próprio Kepler em seus escritos, e sem me preocupar em esclarecer no que consiste a diferença entre elas. Tratarei disto agora. O Capítulo 2 do Livro IV investiga as faculdades da alma responsáveis pela apreensão (ou produção) das harmonias, distinguindo entre duas faculdades: “a primeira contemplativa, que é mental, em um certo sentido, e a outra é operativa; e a mental é novamente dupla; pois ou ela está a descobrir as proporções atuais nas quantidades abstratas ou está reconhecendo ou percebendo nas coisas sensíveis as proporções escolhidas.” (Kepler, 1997, p. 307.) A semelhança com os trechos da Astronomia nova onde são invocadas almas e mentes planetárias é notável: em ambos os textos, a mente à qual são inatos os princípios mais elementares da geometria corresponde grosso modo ao *noûs* de Aristóteles mas inclui também a faculdade perceptiva, que recebe as emanções de outros corpos e apreende as harmonias ali presentes, enquanto a função locomotora é tratada como uma faculdade independente e subordinada à primeira. O ponto central aqui é que, ao contrário do que acontece na Astronomia nova, na Harmonia do mundo é indispensável que os planetas sejam providos de almas com faculdades mentais, perceptivas e motrizes, faculdades que estão presentes até mesmo nas almas vegetativas das plantas:

“As ideias ou causas formais das harmonias, de acordo com nossa discussão prévia sobre elas, são completamente inatas naqueles que possuem este poder de reconhecimento (...) assim como o número de pétalas na flor e de segmentos em um fruto são inatos na forma das plantas. (...) eu não

posso negar com confiança mesmo a esta faculdade vegetativa da alma das plantas o poder de reconhecer as proporções harmônicas dos raios siderais (...)." (Kepler, 1997, pp. 307-308)

O conhecimento inato das harmonias arquetípicas, bem como a capacidade inata de reconhecer as harmonias sensíveis deve-se à ação direta de Deus conjugada à natureza circular da alma, que corresponde àquilo que nela há de divino. O conhecimento inato das harmonias é aquilo que há de divino não apenas no ser humano, mas também nas plantas, animais e corpos celestes, ainda que nesses o reconhecimento das harmonias não se dê de maneira consciente, como em um ser humano educado nas matemáticas, mas à maneira como uma criança é capaz de reagir à musicalidade de uma canção, dançando ou se emocionando, ainda que nada conheça de teoria musical.

O epílogo sobre a natureza sublunar que fecha o Livro IV é um dos textos mais abertamente astrológicos escritos por Kepler. Cabe notar que a astrologia ali presente afasta-se da arbitrariedade da superstição envolvida nos signos e aspectos para aproximar-se dos fundamentos metafísicos da física celeste kepleriana. A alma da Terra é ali descrita como uma potência geometrizante, capaz de produzir os polígonos regulares encontrados nos fósseis e cristais, e dotada de faculdades mentais que a permitem reconhecer as harmonias derivadas dos polígonos inscritos em círculos e, com elas, as harmonias luminosas que constituem os aspectos da astrologia. A alma da Terra é também a responsável por imprimir a ela o seu movimento diário de rotação. Os aspectos astrológicos interessam aqui, sobretudo, enquanto causas de eventos meteorológicos como secas, períodos de chuva ou estações particularmente quentes ou frias. E se não há uma correspondência exata entre esses aspectos observados entre as posições dos planetas e a meteorologia, isso indica o caráter animado da Terra que reage a eles, às vezes se comportando de maneira "preguiçosa ou teimosa". (Kepler, 1997, p. 363). Por outro lado, ocorrências astronômicas mais raras e notáveis, como eclipses, estrelas novas ou cometas, perturbam de maneira igualmente notável a alma da Terra, produzindo "chuvas imensas e contínuas, para além daquelas indicadas pelos aspectos, ou, ao contrário, secas severas e terremotos associados (...)" (Kepler, 1997, p. 369).

Kepler aponta as semelhanças entre a Terra e um animal: “Pois assim como o corpo lança cabelos da superfície da sua pele, também a Terra lança plantas e árvores (...) e assim como o corpo exhibe lágrimas, muco e cera de ouvido, e também em alguns lugares a linfa das pústulas na face, também a Terra exhibe âmbar e bitume; assim como a bexiga expele urina, também as montanhas expelem rios (...)” (Kepler, 1997, p. 363). Também o calor subterrâneo é considerado por Kepler um indício de que a Terra possui uma alma, pois mesmo os animais esfriam depois de mortos. (Kepler, 1997, p. 366.) Podemos portanto dizer que, para Kepler, a Terra é Gaia, um ser vivo.

A minha leitura, portanto, é que seria artificial tratar Kepler como um cartesiano avant la lettre, um mecanicista de estrita observância. A metáfora do relógio, embora apareça na *Astronomia nova*, não é capaz de resumir seu pensamento nem mesmo naquele livro de cunho mais empirista. Seu cosmos é animado, e nele a matéria está sempre a gestar formas geométricas. Neste sentido, afasto-me de intérpretes como Dijksterhuis no influente estudo *The mechanization of the world picture* (1961) e me aproximo das leituras mais recentes de Bruce Stephenson (1987; 1994), Rhonda Martens (2000) e Patrick Bonner (2013). E, ao fazer isso, não leio a *Harmonia do mundo* como um texto mais místico ou menos científico de Kepler, mas como uma fonte importante que merece ser investigada com mais atenção em pesquisas futuras que busquem compreender os fundamentos de sua astronomia física, baseada em causas.

Referencias

- Kepler (1997). *The harmony of the world*. trad. E. J. Aiton et al., Filadélfia: American Philosophical Society.
- Kepler (1992a). *El secreto del universo*. trad. Eloy R. García, Madri: Alianza Editorial.
- Kepler (1992b). *New astronomy*. trad. William H. Donnhue, Cambridge: Cambridge University Press.
- Boner, P. (2013). *Kepler's cosmological synthesis: astrology, mechanism and the soul*. Boston: Brill.

- Dijksterhuis, F. J. (1986). *The mechanization of the world picture*. Princeton University Press.
- Itokazu, A. G. (2006). “A força que move os planetas: da noção de species immateriata na astronomia de Johannes Kepler”. Campinas: Cadernos de História e Filosofia da Ciência, v. 16, n. 2, Série 3.
- Liscia, D. A. (2007). El concepto de causalidad e el desarrollo de una teoría cosmológica en Johannes Kepler, Conferência pronunciada na Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires, na sessão pública de 8 de agosto de 2007, disponível em: file:///C:/Users/User/Downloads/ EL_CONCEPTO_DE_CAUSALIDAD_Y_EL_DESARROLL.pdf.
- Martens, R. (2000). *Kepler's philosophy and the New Astronomy*. Princeton: Princeton University Press.
- Stephenson, B. (1987). *Kepler's physical astronomy*. Nova York: Springer-Verlag.
- Stephenson, B. (1994). *The music of the heavens*. Princeton: Princeton University Press



Releyendo las Photometric Researches de C. S. Peirce

Catalina Hynes*

Resumen

El presente trabajo tiene por objeto examinar investigaciones fotométricas que Charles S. Peirce (1839-1914) realizó en el Observatorio de Harvard durante los años 1872-1875. Estas investigaciones son mucho más que un mero catálogo estelar, contienen observaciones científicas que exceden el campo disciplinar. Se partirá de una reseña de los trabajos iniciales de Peirce como astrónomo: su observación con un espectroscopio de un eclipse total de sol en 1868 y su observación, la primera registrada, del espectro del elemento químico Argón, durante “la más tierna infancia de la espectroscopía”. Argumentaremos que fue su trabajo como científico (especialmente su tarea como fotometrista) el que le proporcionó material para su reflexión filosófica. A partir de la inexactitud que puede constatare en sucesivas mediciones y en la comparación de las mediciones de diferentes observadores, Peirce llegó a proponer su doctrina del falibilismo, doctrina que estaba contracorriente del positivismo reinante en las ciencias en la segunda mitad del siglo XIX.

Palabras clave: Peirce, astronomía, fotometría, falibilismo, métodos.

Abstract

The purpose of this paper is to examine photometric investigations made by Charles S. Peirce (1839-1914) at the Harvard Observatory during the years 1872-1875. These investigations are much more than a mere stellar catalog, they contain scientific observations that exceed the disciplinary field. We will start with a review of Peirce's early work as an astronomer: his observation with a spectroscope of a total solar eclipse in 1868 and his observation, the first recorded, of the spectrum of the chemical element

* UNT-Sociedad Latinoamericana Peirce

Argon, during “the earliest infancy of spectroscopy.” We will argue that it was his work as a scientist (especially his work as a photometrist) that provided him with material for his philosophical reflection. From the inaccuracy that can be found in successive measurements and by the comparison of the measurements of different observers, Peirce came to propose his doctrine of fallibilism, a doctrine that was countercurrent to the positivism reigning in the sciences in the second half of the 19th century.

Keywords: Peirce, astronomy, photometry, fallibilism, methods.

I. Introducción

Cuando estudiamos la obra de un filósofo científico, a menudo caemos en la tentación de ignorar o, al menos, minimizar la importancia de sus investigaciones no filosóficas suponiendo falsamente que no hay nada de interés filosófico en ellas. Una mirada lineal a la historia de la ciencia y a su avance ininterrumpido puede decretar la obsolescencia temprana de este tipo de obras. Es posible que algo de eso ocurra con las Investigaciones Fotométricas de Peirce (1878), el único libro que él publicó. Sin embargo, en mi opinión, esta obra no debe descuidarse. Peirce afirmaba que cada paso en la historia de la ciencia es una lección de lógica y personalmente pienso que fue su propia actividad como científico profesional, unida a su gran capacidad de teorización, las que permitieron forjar sus ideas filosóficas sobre el conocimiento. Tales ideas que fueron lo bastante audaces como para romper con la tradición cartesiana y kantiana, por un lado, y sumamente creativas, por otro. Asimismo, sus certeras críticas a los metafísicos que reflexionan sin tener en cuenta los hechos o cómo son las cosas provienen, sin lugar a dudas, de la práctica científica a la que Peirce se abocó prácticamente desde su infancia.

Estas consideraciones me llevaron a desear adentrarme en sus Investigaciones Fotométricas para escudriñar allí el origen posible de algunas sus ideas fundamentales. La tarea no es sencilla, como se verá. Lo que presento a continuación son avances parciales de una investigación en curso que incluye la traducción anotada del texto al español.

Quisiera, además, presentar al Peirce astrónomo y extraer de sus trabajos iniciales algunas conclusiones epistémicas referidas a su comprensión del conocimiento, su noción de verdad y el falibilismo. Es de allí,

tanto como de la historia de la ciencia y de la filosofía, de donde Peirce destilará sus lecciones de lógica.

II. Peirce, el astrónomo del Observatorio de Harvard

Hacia fines del siglo XIX Peirce recordará conmovido, “como si fuera ayer” (Peirce, 1966, MS 1036), según sus palabras, la primera vez que vio el espectro del Helio en agosto de 1869. El año anterior, dos astrónomos, el francés Pierre Janssen y el inglés Joseph Norman Lockyer observaron en forma independiente una línea amarilla en el espectro solar, distinta de las líneas del sodio, ya conocidas, y postularon la existencia de un nuevo elemento químico, al que denominaron Helio, el nombre griego del sol. La expectativa generada por este descubrimiento fue enorme. Especialmente en Estados Unidos, donde iba a tener lugar un eclipse total de sol el 7 de agosto del año siguiente y, consiguientemente, se podría confirmar el hallazgo o bien desestimarlos.

Se destinaron muchos recursos a la observación del eclipse y la Coast Survey lideró el equipo de científicos que estuvieron presentes. Peirce fue integrante de la expedición en su carácter de asistente, tanto de la Coast Survey como del Observatorio de Harvard, al que se había incorporado como asistente ese año. El eclipse atrajo la atención de la prensa y de los curiosos, convocándose así una multitud en los alrededores de los campamentos científicos. Norman Lockyer dirá luego, en su reporte para la naciente revista científica, *Nature*: “Ciertamente, nunca antes un eclipse de sol fue torturado tan a fondo con todos los instrumentos de la ciencia”.¹

La franja de totalidad del eclipse, que fue calculada y cartografiada por Peirce, pasaba a través del territorio de Kentucky. Mientras la estación más numerosa de la expedición se situó en Shelbyville, Peirce se ubicó en Bardstown, ligeramente al sudeste de la línea central del eclipse. Un tercer equipo de la Inspección Costera se estableció en Springfield, Illinois, al mando de Charles Schott.

De todos los instrumentos utilizados para “torturar al eclipse”, según las palabras de Lockyer, se destacaban dos, además de los telescopios: por un lado, estaban los espectroscopios, como el que Peirce utilizó para observar el eclipse, y, por otro, las cámaras fotográficas de entonces, los

¹ Cf. Lockyer, J. N. (1869).

daguerrotipos². Con ambos tuvo que habérselas Peirce, aunque en el segundo caso, su trabajo fue posterior al eclipse, cuando debió que evaluar las imágenes obtenidas por pedido expreso de J. Winlock.³

Tal como Peirce recordará luego, la década de 1860 pertenecía a la tierna infancia de la espectroscopía. Si bien la historia de esta disciplina comienza con Newton (Webb, 1999, pp. 88 y ss) y su célebre experimento consistente en hacer pasar un haz de luz solar a través de un prisma, descomponiendo así la luz blanca en muchos colores, no fue sino hasta el Siglo XIX que la espectroscopía experimentó avances notables y continuos. Estos desarrollos se deben a varios científicos desde comienzos del siglo, pero simplificando un poco esta historia⁴ para mayor brevedad, podemos señalar como un hito el año 1859. Ese año, Gustav Kirchhoff (1824-1887) y Robert Bunsen (1811-1899), dos amigos profesores de física y de química en la Universidad de Heidelberg, desarrollaron el espectroscopio. Kirchhoff descubrió que cada elemento químico posee un espectro de emisión de energía y otro de absorción que lo caracteriza, algo así como sus huellas digitales. Con este instrumento, ambos lograron identificar exitosamente nuevos elementos químicos, tales como el Cesio en 1861, luego el Rubidio y el Talio (Brock, 1992) mediante el análisis espectral de la luz que emitían ciertas sustancias al ser calentadas. Kirchhoff se aplicó a estudiar la luz solar y logró detectar allí varios elementos ya conocidos y estudiados en la tierra. Fue, sin embargo, el astrónomo inglés William Huggins (1824-1910) el primero en darse cuenta de la enorme importancia del espectroscopio para la astronomía. Es considerado el padre de la astrofísica moderna (Webb, 1999, pp. 90-91) al comenzar a analizar con el espectroscopio la luz proveniente de las lejanas estrellas.

El Observatorio de Harvard adquirió su primer espectroscopio en 1867 y Charles pronto logró destreza en su utilización, por ello es que fue convocado a observar el eclipse.

2 Consistentes, básicamente, en placas de vidrio cubiertas de una película química fotosensible.

3 El rol principal que Peirce desempeñó en esa evaluación está espléndidamente narrado por Hoel, A. S. (2016), 49-66.

4 Una perspectiva personal de Peirce con respecto a estos primeros años de la espectroscopía se encuentra en la reseña "Roscoe's Spectrum Analysis" (Peirce, 1982-2010, pp. 285-289).

Disponemos de dos relatos diferentes de Peirce sobre este evento. Uno, más parco y técnico, que constituye su Informe elevado a la Superintendencia el 20 de agosto (Houser & Kloesel (Eds.), 1992-1998, pp. 290-293), y otro recuerdo, más emotivo y poético, que constituye el Manuscrito 1036, de la década de 1890. Para este segundo relato voy a proponer una datación conjetural, a partir de su contenido, situándolo en el año 1898.

Por el Informe a la Inspección Costera sabemos que Peirce utilizó para sus observaciones un telescopio de montura ecuatorial, de 4 pulgadas (101,6 mm) de apertura clara y cinco pies de distancia focal, que era propiedad del geólogo Nataniel Shaler. Este tenía adosado un espectroscopio provisto un prisma simple de Flint⁵ y a continuación un prisma de visión directa constituido, a su vez, por tres prismas. No poseía un micrómetro para medir la posición de las líneas espectrales, lo cual convierte a su informe en una pieza de escaso valor para los fines de la observación científica. De su relato podemos hacernos una idea también acerca de lo difícil que era mantener alineados ambos aparatos mientras se enfocaba en distintas partes de la corona solar con sus protuberancias. Peirce se queja de que para poder ver parte del espectro había que desatornillar y reacomodar un brazo algo pesado que portaba el espectroscopio y de que no lograba, por consiguiente, enfocar completamente el espectro y algunas líneas se perdían de vista. En todas estas maniobras era ayudado diligentemente por Shaler.

Tengamos en cuenta que, en astronomía, el objeto observado se está moviendo constantemente. Mientras que, en un observatorio grande, por lo general, había un sistema de relojería y pesas para acomodar automáticamente el telescopio, en el caso de un telescopio de campaña como el que manipulaba Peirce, ese dispositivo estaba ausente, lo que obligaba a continuas maniobras para no perder de vista el objetivo. A pesar de todo, en un momento pudo observar con total nitidez el espectro del Helio, con su línea amarilla característica, lo que confirmaba las observaciones de Janssen y Lockyer. La emoción de observar por primera vez un elemento hasta entonces no detectado en la tierra, lo acompañará hasta su vejez.

El segundo relato del eclipse del 68 está contenido en el Manuscrito 1036, titulado "Argón, Helio y el compañero del Helio". Allí Peirce relata

5 El cristal de Flint es un vidrio con plomo, lo que le proporciona un alto índice de refracción. Para una mejor comprensión de los instrumentos utilizados en esa época de la astronomía se puede leer con provecho Scheiner, J. (1894).

las adiciones que se han hecho a la lista de los elementos químicos desde los tiempos en que él era estudiante de química hasta los últimos quince meses previos a la redacción de su escrito. El Argón fue aislado e identificado por William Ramsay (1862-1916) y Lord Rayleigh⁶ (1842-1919) en el verano del 1894 y recién hicieron el anuncio formal el 31 de enero de 1895 (Brock, 1992, pp. 291-291). Su descubrimiento resultó desconcertante, porque era un gas que no reaccionaba con nada, ni siquiera consigo mismo, de ahí que Ramsay propusiera denominarlo con la palabra griega “Argón” (αργόν), esto es, perezoso, indolente. En 1895 lograron aislar Helio por primera vez (hasta entonces solo se había detectado en el sol, como hemos visto) y comprobaron que tenía características similares, es decir, una baja reactividad química.

Ambos descubrimientos no estuvieron exentos de controversia, muchos químicos se negaban en un principio a aceptar la idea de unos gases inertes, que no reaccionaran con ninguna sustancia y que no estaban previstos en la tabla periódica de los elementos de Mendeleiev⁷ porque su valencia sería equivalente a cero. Pocos años después, en 1898, Ramsay, ayudado ahora por Morris Travers (1872-1961), identificó tres nuevos gases nobles (Neón, Kriptón y Xenón). De ahí que el título del Manuscrito 1036, que se titula “Argón, Helio y el compañero del Helio” me hace pensar que este manuscrito podría datarse en 1898, cuando comenzaron a aparecer más gases de este mismo grupo, pues, aunque no los menciona por su nombre, Peirce se refiere a estos nuevos elementos en el manuscrito. Asimismo, como habla de “este siglo” refiriéndose al Siglo XIX, el manuscrito no podría referirse a la lista completa de gases nobles que fue elaborada por Ramsay recién en 1903. De ahí mi propuesta de fechar el manuscrito en los últimos meses de 1898 o a lo sumo en 1899. No más allá puesto que Peirce habla de “los últimos quince meses” para estas adiciones a la tabla periódica.

Este manuscrito muy importante, a mi entender, puesto que allí Peirce afirma haber observado el espectro del Argón mientras era asistente del Observatorio de Harvard, es decir, unos veinte años antes. Vale la pena leer el relato de Peirce:

6 John William Strutt, Tercer Barón de Rayleigh.

7 La tabla, hasta ese momento, era muy similar a la que usamos ahora, aunque con una columna menos: la correspondiente a los gases nobles.

“Ha sido además mi fortuna ser uno de los primeros mortales en ver el espectro del Argón. Mi impresión es que fui el primero en medir la longitud de onda de su línea más característica. Yo era asistente del Profesor Winlock en el Observatorio del Harvard College. Él había dispuesto un aparato (bastante mal calculado) con el propósito de observar el espectro de la luz zodiacal. Él tuvo que ausentarse por una semana o dos; yo fui asignado a conducir las observaciones. Pienso que no tuve éxito con la luz zodiacal⁸ (estoy hablando a partir de una memoria sensorial de observaciones de hace veinte años); pero sucedió que una noche hubo una buena visualización de la aurora. Creo que habíamos oído que alguien en Europa había visto una línea o una banda inexplicable en el espectro de la aurora. Tuve la buena suerte de fijar, (no solo a esa línea sino a varias), y medir sus longitudes de onda, luego de cierto trabajo. Telegrafíé las figuras al Prof. Winlock; y él las anunció en la sesión de la Academia de Ciencias a la que estaba asistiendo. Mi medida aparece en el artículo “Astronomía” de la Enciclopedia Británica. Esa fue, nuevamente, la aparición de un elemento químico desconocido. Entiendo que fue Argón.” (Peirce, 1966, MS 1036)

La noche a la que Peirce hace alusión se trata muy probablemente la del 29 de junio de 1869, ya que menciona esa observación en su reseña del libro de Roscoe *Análisis Espectral*, publicada en *The Nation* el 22 de julio de ese año (Peirce, 1982-2010, 2, p. 288). Este manuscrito contiene además el relato del eclipse de sol de 1868. Hace allí una vívida descripción de los asombrosos cambios de luz previos a la totalidad del eclipse, de las bandas de luz anaranjada, de la oscuridad nocturna avanzando con nitidez sobre el paisaje con una velocidad varias veces mayor a un tren, del desconcierto del ganado, corriendo enloquecido por el campo, ¡de los pájaros volando desorientados y del gran grito de “Oh!” de la multitud que observaba. Muchos años después de haberlo presenciado, Peirce seguirá afirmando que un eclipse total de sol es el espectáculo más sobrecogedor de la naturaleza. Veamos ahora las conclusiones epistémicas que podemos extraer de estos trabajos.

8 Se llama así a un resplandor apenas visible en las noches sin luna que proviene del reflejo de la luz solar en el polvo que gira alrededor del sol en el plano de la eclíptica.

III. Las *Photometric Researches*

Como asistente del Observatorio de Harvard y de la USA Coast Survey, Peirce estuvo encargado de observar estrellas entre los 40° y 50° de declinación norte. Realizó este trabajo entre 1872 y 1875, y produjo un informe de esas observaciones que fue finalmente publicado en 1878. El libro fue editado por Wilhelm Engelmann en Leipzig como el volumen 9 de los *Annals of the Astronomical Observatory of Harvard College*. Las Investigaciones Fotométricas son formalmente (o se supone que sean) un catálogo de magnitudes estelares. Pero son mucho más que eso. Peirce afirma en una carta a Arthur Searle (Barrena & Nubiola, 2022, p. 223), secretario del Harvard Observatory:

“Considero importante la publicación inmediata de las investigaciones fotométricas. No sólo pretenden recordar los hechos al mundo astronómico, sino también inculcar ideas. Tengo esperanzas de que, si transcurriera un tiempo suficiente para su debida digestión antes de que el estómago fotométrico recibiera alguna otra cosa de importancia, podrían adquirir una cierta influencia en la investigación actual en esa dirección.”

Así, podemos ver que Peirce pretende ofrecer algo más que un mero registro de observaciones, quiere *inculcar ideas*. El trabajo le fue asignado a Peirce por Joseph Winlock, entonces director del observatorio. Como asistente de la Coast Survey, Peirce desarrollaba, al mismo tiempo, investigaciones gravimétricas y geodésicas. Fue un período de su vida signado por el exceso de trabajo y dificultades matrimoniales. Peirce se las ingenia, de todas maneras, para dedicarse también a investigaciones lógico-filosóficas que constituían su interés primordial. En ese ámbito podemos señalar como importante su serie de artículos “Illustrations of the Logic of Science” in *Popular Science Monthly* (1877-1878) en la que aparecieron su célebres: “The Fixation of Belief” (1877) and “How to Make our Ideas Clear” (1878).

El contenido del libro se divide en cinco capítulos:

I. LA SENSACIÓN DE LA LUZ.

II. SOBRE EL NÚMERO DE ESTRELLAS DE DIFERENTES GRADOS DE BRILLO.

III. OBSERVACIONES ORIGINALES.

IV. COMPARACIONES DE LOS DIFERENTES OBSERVADORES.

V. SOBRE LA FORMA DEL CÚMULO GALÁCTICO.

Como afirma Peirce, «el objeto de las observaciones era obtener las magnitudes de todas las estrellas de la Uranometría de Argelander comprendidas entre 40° y 50° de declinación Norte» (Peirce, 1878, p. 103), unas 368 estrellas. Pero más tarde Peirce amplió el plan y observó aproximadamente cien estrellas más que consideró de interés. Cabe señalar que cada estrella fue observada varias veces.

Cualquiera que observe el cielo nocturno se dará cuenta de que las estrellas tienen diferentes grados de brillo. Hiparco de Nicea (ca.190 - 120 a.C.) elaboró un catálogo estelar y estableció una escala de magnitudes que iba del 1 al 6, donde el 1 corresponde a las estrellas más brillantes, mientras que el 6 corresponde a las menos brillantes. Esta escala de Hiparco, aunque contraintuitiva, se mantiene, en su mayor parte, hasta nuestros días. Galileo fue el primero en observar con su telescopio, en 1609, estrellas con una magnitud superior a 6. Y conviene aclarar que, según las correcciones actuales, la estrella Sirio, la más brillante del cielo, tiene una magnitud negativa de -1,46. Otros astros, como la Luna, el Sol o Venus, también tienen magnitudes negativas. El cero de la escala corresponde actualmente a la estrella Vega.

Peirce desarrolla, en el primer capítulo, una distinción entre luz nouménica y luz fenoménica, aclarando que las investigaciones fotométricas se ocupan de la luz fenoménica, es decir, de las magnitudes aparentes. Entre el flujo de energía física, podríamos decir, y las percepciones humanas no existe una correlación lineal. Peirce apela aquí a recientes investigaciones en psicología experimental, concretamente a Fechner, para explicar que nuestras sensaciones no captan las diferencias reales de magnitud del estímulo, en este caso el flujo de energía luminosa, sino que van muy por detrás, en una relación logarítmica. Para no entrar en demasiados detalles técnicos, digamos que, entre estrellas de magnitud 1 y 2, la diferencia no

es que las primeras sean el doble de brillantes que las segundas, sino que no logramos ver que hay una diferencia real de 100 a 1. El punto crucial para Peirce será que podemos, conociendo las leyes a las que obedece nuestra percepción, saber que esto es así. Hoy en día existen aparatos muy sofisticados para captar el flujo real de energía, pero esto no era así en la época de Peirce. Por eso señala que estas investigaciones fotométricas se refieren a la luz fenoménica, es decir, a las magnitudes aparentes. Hay otra complicación en nuestra percepción del brillo de las estrellas, esta varía según el color de la estrella observada. Peirce explica detalladamente estas diferencias en nuestra sensación de la luz en cada caso.

Además de realizar las observaciones previstas, Peirce comparó las suyas con casi todos los catálogos existentes, tanto antiguos como contemporáneos. Peirce denominó investigaciones «históricas» a estas comparaciones con las observaciones de Ptolomeo, Ulugh Beg (Uzbekistán, siglo XV), Tycho Brahe, William Herschel, John Herschel, Ludwig Seidel, Hevelius y M. Schmidt, así como Argelander y Heis. No se trata de una mera curiosidad histórica, sino de la comparación efectiva de lo registrado por diferentes observadores, o bien enfocar las diferencias entre los tiempos de Ptolomeo y el suyo. El ideal de exactitud en ciencia debe confrontarse con todas las imprecisiones que operan realmente en la medición científica, con sus errores ineliminables y con la multiplicidad de observadores. Lejos de sacar una conclusión escéptica sobre nuestro conocimiento del mundo real, Peirce aprende que sólo el trabajo en común puede aspirar a llegar a un resultado estable.

IV. El instrumento

En el capítulo 3, Peirce da una descripción detallada del instrumento que utilizó:

“Mis observaciones se han realizado con un astrofotómetro de Zöllner. Aunque el principio de este instrumento es bien conocido, puedo recordar al lector que una estrella artificial se lanza en el campo de un telescopio, y que su brillo se reduce mediante la rotación de un prisma de Nicol, hasta que iguala, en brillo, cualquier estrella real que esté en el campo al mismo tiempo. Como el prisma Nicol está provisto de un círculo graduado, la relación de reducción de la luz se calcula a partir de la lectura. Un tercer

Nicol con una placa de cuarzo interpuesta, cortada perpendicularmente a su eje, permite modificar el color de la estrella artificial, y este tercer Nicol también está provisto de un círculo graduado.” (Peirce 1878, p. 88)

El instrumento al que se hace referencia es el fotómetro diseñado por Johann Karl Friedrich Zöllner (1834-1882). Sólo se construyeron 22 ejemplares en el mundo. Y aunque Peirce afirma que «el principio de este instrumento es bien conocido», de hecho, los historiadores se basan, en gran medida, en la valiosa descripción de Peirce sobre las dificultades de su funcionamiento: El fotómetro de Zöllner requería una gran habilidad, mucho trabajo y mucho tiempo para cada medición. El uso del variador de color era muy difícil y su escala imprecisa. Los ayudantes de Peirce en esta tarea se quejaban a menudo del excesivo trabajo al que estaban sometidos. Por si estas dificultades no fueran suficientes, había que añadir los caprichos del tiempo y la consiguiente variación en la visibilidad de las estrellas observadas.

V. Algunas conclusiones

Podemos preguntarnos en qué momento de la historia de la ciencia se sitúan estas investigaciones fotométricas de Peirce y qué valor tienen. Según Hearnshaw, J. B. (1996), «Peirce puede ser considerado como el primer fotometrista americano importante debido a sus observaciones fotométricas pioneras en Harvard y Washington entre los años 1871-75». Sin embargo, hay que señalar que estas observaciones se sitúan en un momento clave de la historia de la astronomía: cuando por fin podemos considerar que la «revolución copernicana» ha concluido con la sustitución efectiva de todas las tesis de la astronomía ptolemaica por otras nuevas. Copérnico no completó personalmente el cambio que inició, sino que fueron los astrónomos del siglo XIX quienes finalmente lo lograron.

Creo que acierta Godfrey Guillaumin cuando afirma que existe una revolución silenciosa que cambiará realmente la vieja astronomía por una nueva. No considera la revolución copernicana “como una sustitución de teorías astronómicas que iría de 1543 a 1687, sino como un complejo proceso cognitivo ampliativo de expansión creciente aún más largo (...), a través del cual simultáneamente las tesis ptolemaicas son eliminadas por sustitución una a una, en diferentes momentos y por diferentes procedi-

mientos de medida, y reemplazadas por tesis cada vez más precisas, exactas y fiables. Llamo a todo este proceso la revolución silenciosa” (Guillau-min, 2023).

El papel ignorado de la medición en la revolución científica es, por el contrario, motivo de reflexión cotidiana para Peirce, que trabajó tan profesionalmente como un metrónomo, tanto en los estudios del péndulo como en astronomía. Y un momento culminante de esta evolución silenciosa es la sustitución de las cantidades por cualidades en el estudio de las magnitudes estelares. El campo había permanecido más o menos idéntico desde la Antigüedad. Copérnico no fue más cuidadoso en sus mediciones ni realizó más observaciones que Ptolomeo, ni diseñó y utilizó mejores instrumentos que los que había empleado Hiparco. Los astrónomos post-copernicanos se ocuparon de otros asuntos. Aunque hay que destacar a Tycho Brahe y Kepler por ser los primeros en darse cuenta de que se necesitaban observaciones más precisas para decidir entre sistemas astronómicos rivales. Peirce se sitúa, pues, en el punto de inflexión entre la astronomía moderna y la astrofísica contemporánea que no tardaría en florecer.

En este peculiar momento de la historia de la astronomía, Peirce (con sus *Investigaciones Fotométricas*) abordó los problemas de medir la luz estelar con una precisión que hasta entonces no se había alcanzado, ayudando a hacer de la fotometría una disciplina científica más exacta y cuantificable. Peirce fue también uno de los pioneros en desarrollar métodos para calibrar instrumentos astronómicos, lo cual es esencial para obtener datos confiables. Su enfoque introdujo, además, rigurosas técnicas estadísticas para analizar los datos fotométricos, lo cual representó una innovación metodológica en la astronomía de la época. Esta aplicación de la estadística permitió obtener estimaciones más precisas y entender mejor la variabilidad de las observaciones.

Aunque Peirce es más conocido por sus contribuciones a la lógica y la filosofía, su trabajo en fotometría influyó en cómo se realizarían las mediciones en astronomía en décadas posteriores, inspirando a astrónomos a refinar las técnicas de observación y análisis cuantitativo. Este trabajo no sólo muestra el rigor de Peirce en la ciencia, sino que también ilustra cómo sus habilidades en lógica y matemática se aplicaban en otras áreas, sentando una base científica más sólida para la observación astronómica.

En mi opinión, fue este minucioso trabajo con instrumentos de medición⁹, casi una verdadera batalla, lo que lo llevó a forjar una de las nociones básicas de su filosofía: el falibilismo. En un pasaje autobiográfico de 1893, Peirce proporciona una clave para comprender el conjunto de su pensamiento con el nombre de falibilismo:

“Durante años (...) solía reunir para mí mismo mis ideas bajo la designación de *falibilismo*; y en efecto, el primer paso para averiguar algo es reconocer que no se conoce todavía satisfactoriamente; pues ninguna plaga puede detener tan eficazmente todo crecimiento intelectual como la plaga del ser presuntuoso (...) En efecto, me ha parecido siempre que toda mi filosofía crece a partir de un falibilismo contrito, combinado con una alta fe en la realidad del conocimiento y con un intenso deseo de averiguar las cosas” (Peirce, 1931-1958, pp. 1.13-14).

Peirce utiliza aquí dos expresiones de tinte religioso, por un lado, la contrición o reconocimiento humilde del hecho de que uno/a ha fallado y, por el otro, una fe (a veces Peirce también menciona la esperanza) en que verdaderamente se avanza en materia de conocimiento. Esta humildad que recomienda es la condición *sine qua non* de la búsqueda de la verdad y dista tanto de la soberbia dogmática como de la desesperación escéptica.

Peirce compara la investigación científica con caminar en un pantano: no se trata de tanto de construir un edificio firme (según la metáfora clásica de Descartes) sino de avanzar, y la firmeza del suelo es casi una ilusión. Lo importante, en todo caso, será la meta hacia donde nos dirigimos. Veamos la cita en cuestión:

“Incluso si (la ciencia) realmente encuentra confirmaciones, son sólo parciales. Todavía no se mantiene firme sobre la base del hecho. Está caminando sobre un pantano, y sólo puede decir, este terreno parece aguantar de momento. Aquí me quedaré hasta que empiece a hundirse.” (Houser & Kloesel (Eds.), 1992-1998, pp. 2-55)¹⁰

9 No sólo trabajó con instrumentos típicamente astronómicos sino que dedicó mucho trabajo a introducir mejoras en los estudios del péndulo.

10 Traducción de Carmen Ruiz disponible en <http://www.unav.es/gep/FirstRuleOfLogic.html>

Las Investigaciones fotométricas de Peirce no son un catálogo estelar más. Constituyen un estudio exhaustivo de los errores en la medición del brillo estelar, con el fin de reducirlos mediante procedimientos matemáticos.

En mi opinión, son dos las principales conclusiones que Peirce extrae de su trabajo científico:

- 1) La importancia crucial de los métodos de investigación sobre los resultados temporales.
- 2) El falibilismo.

En cuanto a lo primero, Peirce se convirtió en un obsesivo perfeccionador de métodos. En este sentido, su principal interés era la lógica de la ciencia. Exploró todas las posibles funciones de las hipótesis en la ciencia. En relación con la inducción, se dedicó al estudio de la probabilidad. También desarrolló la lógica deductiva hasta su nivel científico actual, prácticamente sin conexión con Frege. Introdujo el análisis veritativo-funcional, los cuantificadores, un sistema con una sola conectiva y un sistema de lógica gráfica, entre otras aportaciones a la disciplina. En su visión amplia de la lógica, prácticamente fundó la semiótica contemporánea, que actualmente desempeña un papel muy importante en muchos ámbitos.

En cuanto al falibilismo, como hemos señalado, Peirce nos dice que es la doctrina según la cual nuestro conocimiento nunca es absoluto, sino que nada siempre, por así decirlo, en una continuidad de incertidumbre y de indeterminación.

En mi opinión, en un siglo XIX lleno de absolutistas e infalibilistas, Peirce fue capaz de nadar contra corriente sólo porque procedía de una práctica profesional que le ponía en contacto diario con el error de medición y con la continuidad infinitesimal de las mediciones.

De ahí que Peirce llegó a caracterizar la verdad como la opinión final de los investigadores firmemente fieles a sus métodos. Lo hace en un párrafo que escribe el mismo año de la publicación de sus Investigaciones fotométricas:

“Un hombre puede investigar la velocidad de la luz estudiando los tránsitos de Venus y la aberración de las estrellas; otro, las oposiciones de Marte... Puede que al principio obtengan resultados diferentes, pero, a medida que cada uno perfeccione su método y sus procesos, los resultados se moverán constantemente juntos hacia un centro destinado.” (Houser & Kloesel, 1992-199), pp. 2-138)

Es por afirmaciones como éstas por lo que creo que la lectura de los trabajos científicos de Peirce puede ayudarnos a comprender lo que pensaba, en la medida en que nos proporcionan un contexto luminoso de su actividad cotidiana: su dura lucha contra los hechos naturales para sacar a la luz su razonabilidad.

Referencias

Fuentes primarias

Peirce, C. S. (1878). *Photometric researches*. Kessinger.

CP Peirce, C. S. 1931-1958. *Collected Papers of Charles Sanders Peirce*, vols. 1-8, C. Hartshorne, P. Weiss y A. W. Burks (eds.). Cambridge, MA: Harvard University Press. B.71.030. Edición electrónica de J. Deely, Charlottesville, VA: InteLex. Versión electrónica gratuita. Ordenación cronológica de los textos compilados en CP, hecha por A. W. Burks (CP 8, pp. 323-330)

MS Peirce, C. S. (1966). *The Charles S. Peirce papers (1966)*. [Microfilm, 32 rollos de manuscritos]. Houghton Library, Harvard University Library, Photographic Service.

EP Houser, N. and Kloesel, Ch. (eds.) 1992-98. *The Essential Peirce. Selected Philosophical Writings*, vols. 1-2. Bloomington, IN: Indiana University Press. B.78.736 y ejemplar en GEP

W Peirce, C. S. 1982-2010. *Writings of Charles S. Peirce: A Chronological Edition*, vols. 1-6 y 8, The Peirce Edition Project (ed.). Bloomington, IN: Indiana University Press. B.71.389

Bibliografía secundaria

- Barrena, S., & Nubiola, J. (2022). *Los viajes europeos de Charles S. Peirce, 1870-1883*. EUNSA.
- Brock, W. H. (1992). *Historia de la química*. Alianza
- Guillaumin, G. (2023). *Revolución silenciosa, La. Expansión, reordenamiento e integración de la experiencia científica* (1.ª ed.). Universidad Autónoma Metropolitana. <https://casadelibrosabiertos.uam.mx/gpd-revolucion-silenciosa-la-expansion-reordenamiento-e-integracion-de-la-experiencia-cientifica.html>
- Hearnshaw, J. B. (1996). *The measurement of starlight: Two centuries of astronomical photometry*. Cambridge University Press.
- Hoel, A. S. (2016). *Measuring the heavens: Charles S. Peirce and astronomical photography*. *History of Photography*, 40(1), pp. 49-66. <https://doi.org/10.1080/03087298.2016.1140329>
- Houser, N., & Kloesel, C. (Eds.). (1992-1998). *The essential Peirce: Selected philosophical writings (Vols. 1-2)*. Indiana University Press.
- Lockyer, J. N. (1869, November 4). The recent total eclipse of the sun. *Nature*, 15.
- Scheiner, J. (1894). *A treatise on astronomical spectroscopy*. Ginn & Company.
- Webb, S. (1999). *Measuring the universe: The cosmological distance ladder*. Springer-Praxis Publisher.



Mercurio y su perihelio

Víctor Rodríguez*

P. E. Lamberti†

In memoriam Dr. Víctor H. Hamity (1941-2023)

Resumen

El 25 noviembre de 1915, A. Einstein presentó las ecuaciones de campo de la teoría general de la relatividad. Esa fecha, no sólo marca el comienzo de una revolución en la física, la cosmología y la astrofísica, sino que es la culminación de un proceso iniciado en 1913 cuando, Einstein, junto con M. Grassmann publicaron las premisas fundamentales sobre las que una teoría relativista de la gravedad, debía formularse. El proceso que llevó a Einstein a la formulación correcta de la teoría estuvo lleno de cavilaciones. Sin embargo, en todo momento el problema del comportamiento anómalo del perihelio de Mercurio, estuvo como motivación y a su vez, árbitro de los avances logrados. El tema del rol jugado por esta anomalía en el perihelio de Mercurio ha sido extensamente estudiado. Sin embargo, su vigencia se muestra en el interés que suscitan nuevos hallazgos de comunicación epistolar entre distintos actores del proceso que condujo a la relatividad general. A su vez, pone de relieve que aún pequeñas discrepancias entre la observación y la teoría nunca deben ser subestimadas, pues pueden conducir, como en este caso, a una nueva física.

Palabras clave: Perihelio de Mercurio, teoría general de la relatividad.

Abstract

On November 25, 1915, A. Einstein presented the field equations of the general theory of relativity (GTR). That date not only marks the beginning of a revolution in physics, cosmology and astrophysics, but also that it is the culmination of a process that began in 1913 when Einstein, in

* Universidad Nacional de Córdoba

† Universidad Nacional de Córdoba

collaboration with M. Grassmann, published the fundamental premises on which a relativistic theory of gravity should be established. The process that led Einstein to the correct formulation of the theory was full of hesitations. However, along all the process the problem of the anomalous behavior of Mercury's perihelion was the motivator and simultaneously the arbiter of the progress achieved. The role played by this anomaly in the development of the GTR has been extensively studied. However, it remains to be of interest, mainly due to the new findings of epistolary communication between different actors in the process that led to GTR. At the same time, this history emphasizes that even small discrepancies between observation and theory should never be underestimated, as they can lead, as in this case, to new physics.

Keywords: Mercury's perihelion, General Theory of Relativity.

I. Introducción

Todo texto relacionado con las “verificaciones clásicas” de la Teoría General de la Relatividad (RG), incluye la explicación de la precesión anómala del perihelio de la órbita de Mercurio. Esta anomalía era conocida mucho antes de la teoría de Einstein, y está relacionada con el desplazamiento del perihelio del planeta más cercano al Sol, en aproximadamente 43” de arco por siglo, y que la teoría newtoniana no podía explicar. Esta falta de acuerdo con la teoría clásica fue un reto para físicos y astrónomos durante el siglo XIX. Concretamente a partir de 1859, cuando el astrónomo Urbain Le Verrier, famoso por haber predicho la existencia del planeta Neptuno en 1846, sugirió que el movimiento anómalo del perihelio de Mercurio se debía a la existencia de un planeta, aún no descubierto, cuya órbita debería encontrarse entre la órbita de Mercurio y el Sol. Ese planeta ficticio, pues nunca se observó, fue bautizado con el nombre de Vulcano. Se atribuía la dificultad de su observación a su cercanía con el Sol. La explicación final y consistente, a la anomalía en el perihelio, llegó en 1915, tras la formulación por parte de Einstein de las ecuaciones de campo de la RG.

El presente trabajo, de contenido histórico, intenta poner sobre la mesa el rol jugado por el problema del perihelio en la formulación de la RG. Curiosamente este tópico ha sido extensamente tratado en artículos de investigación y en muchos libros. Sin embargo, sigue siendo todavía

motivo de interés para los estudiosos de la historia de la RG. En este sentido se destaca un trabajo reciente de Michel Janssen y Jürgen Renn, quienes, tras el hallazgo de nueva correspondencia entre Einstein y su amigo Michele Besso, jerarquizan aún más el hecho que el problema del perihelio fue una guía central en la formulación de la RG (Janssen & Renn, 2021). Además, el interés en el problema del perihelio de Mercurio no se limita al aspecto histórico. El acceso a nuevas tecnologías de medición, conduce a acuerdos aún mayores con la RG (Will, 2018).

Desde nuestra perspectiva el estudio del comportamiento anómalo del perihelio de Mercurio resulta interesante, al menos por dos razones: 1) Permite adentrarse en la historia de las mediciones de gran precisión logradas por la astronomía del siglo XIX y 2) forma un eslabón clave en el estudio del desarrollo de la RG. La conexión entre ambos tópicos dejó una enseñanza muy importante para el desarrollo de las ciencias experimentales: aún pequeñas anomalías, por insignificantes que parezcan, pueden conducir a nueva física, y por lo tanto merecen la mayor atención.

Para darnos una idea de la magnitud del avance del perihelio de Mercurio, el corrimiento de $43.77''/\text{siglo}$ informado por Simon Newcomb (1895), significa que son necesarios más de 8000 años para que el perihelio se desplace 1 grado de arco (Newcomb, 1895).

II. Antes de la Relatividad

La gravedad newtoniana, victoriosa en casi todos los frentes, no sólo se encontró con el problema del perihelio de Mercurio. Ella mostraba algunas inconsistencias al tratar el problema cosmológico. Al suponer un universo infinito y representado por una geometría Euclídea, aparecían algunas cuestiones de difícil explicación. Por ejemplo, ¿por qué toda la materia del universo no colapsa en una única masa por acción de la gravedad? Esto llevó, entre otros, al astrónomo Hugo von Seeliger a publicar en 1895 un manuscrito con una propuesta de modificación de la gravedad newtoniana. Su razonamiento se reduce a la pregunta: ¿Vale la ley de gravitación de Newton para masas separadas por distancias inconmensurablemente grandes? (*unermesslich grosse Entfernung*) (von Seeliger, 1895). Mencionamos este trabajo por su pertinencia con el nuestro, pues von Seeliger razona que la gravedad newtoniana ofrece fuertes razones para creerla válida en el ámbito del sistema solar; no así necesariamente a un

nivel cosmológico. Sin embargo, sugiere que esta duda puede ser resuelta aplicándola a “ejemplos simples y obvios” (einfach und naheliegender Beispielen). von Seeliger fue estudiante del matemático Carl Neumann, quien trabajó en métodos matemáticos aplicados a problemas de astronomía teórica. Su aporte al problema de la cosmología newtoniana consistió en alterar la ecuación de Poisson (verificada por el potencial newtoniano) de tal modo que aceptase una solución de tipo $1/r$ para una partícula puntual de masa M , con r la distancia radial al centro en la partícula. Esto transformaba a la gravedad en una fuerza de alcance limitado. Es pertinente mencionar aquí que von Seeliger fue también uno de los que sugirieron como posible explicación al comportamiento anómalo del perihelio de Mercurio, la luz zodiacal, es decir una gran cantidad de pequeños objetos, orbitando alrededor del Sol y cuya luz se refleja sobre ellos.

Otra modificación pre-relativista a la teoría newtoniana fue propuesta en 1898 por Paul Gerber. Él sugiere una ley de gravedad con dependencia no sólo espacial sino también temporal (Gerber, 1898). Es interesante notar que la expresión para el potencial gravitatorio propuesto por Gerber es el mismo que el propuesto por Wilhelm Weber, en su teoría de acción a distancia de la electrodinámica (Maxwell, 1954). En el trabajo de Gerber se observa que la motivación principal en su modificación de la teoría newtoniana reside en el problema de las órbitas de los planetas. Es relevante notar que este autor asigna a la propagación de la acción gravitatoria, una velocidad igual a la de la luz. En 1917 el artículo de Gerber fue publicado por segunda vez, a instancias de Ernst Gehrcke. En la introducción a esta re-edición del trabajo de Gerber, Gehrcke dice: “Si, y cómo la teoría de Gerber puede ser incorporada a las bien conocidas ecuaciones del electromagnetismo, en una nueva teoría unificada, es un problema complejo, el cual espera todavía una solución”. Una cuestión no menor es que, si bien el potencial de Gerber da una tasa de precesión del perihelio correcta (tras hacer un razonamiento heurístico relacionado con un factor k que debe tener el valor igual a 6), no era tan claro su éxito al momento de calcular el desvío de la luz en un campo gravitatorio respecto de lo calculado con la RG: la teoría de Gerber predecía un factor $3/2$ del ángulo de desviación, respecto a lo predicho por la RG (Roseveare, 1982). El comentario de Gehrcke arriba entrecomillado, está fuertemente vinculado con estas inconsistencias, pues en definitiva la desviación de la

luz por efecto gravitatorio tiene que ver con la propagación de campos electromagnéticos en presencia de la acción gravitatoria.

III. La Relatividad entra en acción

Tras la formulación en 1905 por parte de Einstein de la Teoría Especial de la Relatividad (RE), muchos físicos enfrentaron el desafío de formular una teoría de la gravedad que fuese compatible con los postulados de la relatividad. Quizás uno de esos intentos más significativos fue el realizado por Gunnar Nordström, quien en realidad presentó dos teorías “relativistas de la gravedad”, una en 1912 y la otra en 1913. Esta última tiene el mérito de ser una teoría basada en la idea de espaciotiempo curvo (Nordström, 1913). Además del trabajo de Einstein, otros intentos en la misma dirección fueron conducidos por otros físicos, tales como Max Abraham y Gustav Mie. Es de destacar que la teoría de Nordström es una teoría basada en un campo escalar. Hermann Minkowski, quien había dado un marco geométrico a la RE, propuso una teoría vectorial para la gravedad; sin embargo M. Abraham observó que tal teoría no aceptaba como solución órbitas planetarias cerradas. No obstante, al concluir la sección dedicada a las teorías vectoriales de la gravedad, en su opúsculo (de menos de 60 páginas), titulado *Neuere Gravitationstheorien* (Nuevas teorías de la gravedad), Abraham rescata un avance provisto por estas ideas: “Habiendo colocado la discusión de la relación entre inercia, energía y gravedad sobre una base racional y de ese modo habiendo preparado el camino para la investigación de estas relaciones, es el beneficio de la nueva teoría de la gravedad lo que informaremos a continuación” (Abraham, 1915).

En 1911 Einstein consigue un puesto de profesor tiempo completo en la Universidad de Praga. Es ahí en donde empieza a interesarse en la formulación de una teoría relativista de la gravedad. La motivación inicial es lograr una teoría que permita calcular la desviación de la trayectoria de un rayo de luz que pase cerca del Sol (y que, según él, podría ser plausible de verificación observacional durante un eclipse). Su propuesta es una velocidad de la luz que dependa del potencial gravitatorio (Einstein, 1911):

$$c = c_0 \left(1 + \frac{\Phi}{c^2} \right)$$

en donde c es la velocidad de la luz en las cercanías del cuerpo que produce el potencial gravitatorio Φ , y c_0 la velocidad de la luz lejos de ese cuerpo. Su razonamiento para llegar a esta expresión es simple: puesto que la masa inercial depende de la energía (consecuencia de la RE), podría ser que la velocidad de la luz dependa del potencial gravitatorio.

Probablemente debido a los inconvenientes que mostraban las teorías escalares y vectoriales para el campo gravitatorio (Nordström y Minkowski), Einstein se inclina por una teoría tensorial. Estas ideas preliminares fueron presentadas en el famoso artículo escrito en colaboración con M. Grassmann, hoy conocido como el Entwurf (Borrador de una teoría generalizada de la relatividad y una teoría de la gravedad) (Einstein y Grassmann, 1913). Es en ese trabajo en el que aparece la conocida expresión para el elemento de línea, que da la distancia infinitesimal entre dos puntos cercanos en el espaciotiempo,

$$ds^2 = \sum_{i,j} g_{ij} dx^i dx^j$$

siendo g_{ij} las componentes del tensor métrico, y x_i las coordenadas de un evento espaciotemporal. Es importante remarcar que las cantidades g_{ij} (10 en total) representan en la concepción einsteiniana, al campo gravitatorio. En el Entwurf se presentan las ideas físicas básicas de una posible teoría (que debería reproducir en cierto límite a las ecuaciones de Newton) y aparece lo que podríamos identificar como el primer germen de las ecuaciones de campo de la RG.

El punto relevante para nuestro trabajo, es que Einstein propone a su amigo M. Besso, usar el Entwurf para calcular la precesión del perihelio de Mercurio. Tras una comunicación epistolar intensa, obtienen un resultado desalentador. El valor para la precesión del perihelio es de sólo 18" por siglo. Esto produce una crisis en Einstein, que termina reconociendo a David Hilbert en una carta fechada el 7 de noviembre de 1915, y asegura haber cometido tres errores (Earman y Glymour, 1978):

1. La covariancia restringida no incluye a las rotaciones uniformes;
2. La precesión del perihelio de Mercurio resulta muy pequeña (por un factor 1/2);

3. La prueba (presentada en 1914) de la unicidad del Lagrangiano es incorrecta.

La versión final de las ecuaciones de campo de la RG es presentada en un trabajo enviado por Einstein, el 25 de noviembre de 1915, a la Academia Prusiana de Ciencias de Berlín. Previo a este trabajo, y mostrando cierto nerviosismo, Einstein publica en ese mismo noviembre cuatro trabajos sobre las ecuaciones de campo. Para poner esos trabajos en contexto, tenemos presente que las ecuaciones de campo de la RG son:

$$R_{ij} - \frac{1}{2}Rg_{ij} = -\kappa T_{ij}$$

Aquí, R_{ij} es el tensor de Ricci, asociado con la curvatura del espacio-tiempo, κ es una constante (que involucra la constante de la gravedad de Newton y a la velocidad de la luz); y T_{ij} es el tensor encargado de dar cuenta de la distribución de masa y energía. Con esto en mente, se puede caracterizar cada uno de estos trabajos de la siguiente forma: 1) En el primero aparece una versión modificada de las ecuaciones presentadas en el *Entwurf*, bajo la premisa de que las ecuaciones debían ser covariantes frente a cambios de coordenadas generalizados (x_i) (este es un modo matemático de enunciar el Principio de Equivalencia previamente enunciado por Einstein); 2) En el segundo, se ocupa de darle al término de materia-energía, ciertas propiedades compatibles con esa covariancia; 3) En el cuarto presenta las ecuaciones propuestas en el segundo, de una manera más prolija y convincente, y 4) Es en el tercero de esta serie de publicaciones en el que utiliza las ecuaciones del segundo trabajo para calcular la precesión del perihelio de Mercurio, obteniendo los tan deseados 43" por siglo (Janssen y Renn, 2015). La expresión encontrada para tal desplazamiento es

$$\varepsilon = 24\pi^3 \frac{a^2}{(1 - e^2 c^2 T^2)}$$

donde a es el semieje mayor de la órbita planetaria (en centímetros), e la excentricidad numérica, $c = 3.1010$ y T el período de revolución en segundos¹.

IV. Conclusiones

Pocos meses después de la presentación de las ecuaciones de campo de la RG, el astrónomo Karl Schwarzschild las resolvió de manera exacta, para el caso de una masa puntual. Esa solución describe la geometría del espaciotiempo en las cercanías de una masa M y es hoy día bastante conocida, pues está asociada con los agujeros negros. Einstein se sorprendió de que sus ecuaciones pudieran ser resueltas de manera exacta. En la obtención de esa solución, Schwarzschild también estaba interesado en la solución del problema del perihelio de Mercurio, como se lo hace saber a Einstein en una carta escrita desde el frente ruso (durante la Primera Guerra Mundial), con fecha 22 de diciembre de 1915 (Schwarzschild, 1998). En una carta a Hendrik Lorentz (fechada en enero de 1916), Einstein le comenta al físico holandés lo desgastante que fue el proceso que lo condujo a las ecuaciones de la RG:

“Durante el pasado otoño, el haberme dado cuenta de manera paulatina de la incorrectitud de las viejas ecuaciones de la gravedad (las de 1914), me produjo *tiempos difíciles* (böse Zeiten)”.

De acuerdo a su biógrafo y amigo Abraham Pais, “el cálculo correcto del avance del perihelio de Mercurio, fue la experiencia más excitante de la vida científica de Einstein”. Y lo vuelve a expresar de una manera mucho más estética: “...La Naturaleza le habló!!” (Pais, 1984).

Referencias

Janssen, M. and Renn, J. (2021). *Einstein and the Perihelion Motion of Mercury, Excerpts from How Einstein Found His Field Equations. Sources and Interpretation*. Disponible en <https://arxiv.org/abs/2111.11238>.

¹ Elegimos esta expresión pues es la escrita por Einstein en, por ejemplo, su libro “El significado de la Relatividad”, Espasa-Calpe, Madrid 1971.

- Will, C. (2018). New General Relativistic Contribution to Mercury's Perihelion Advance. *Phys. Rev. Lett.* 120, 191101.
- Newcomb, S. (1895). *The Elements of the Four Inner Planets and the Fundamental Constant of Astronomy*. Washington (EEUU), US Government Printing Office. Disponible en <https://ia600209.us.archive.org/13/items/elementsoffourin00newcrich/elementsoffourin00newcrich.pdf>.
- von Seeliger, H. (1895). Über das Newton'schen Gravitationsgesetz. *Astronomische Nachrichten*, Band 137 N° 3273. Disponible en: <http://www.berrigan.org/physique/%C3%9Cber%20das%20Newton%E2%80%99sche%20Gravitationsgesetz%20-%20Seeliger.pdf>.
- Gerber, P. (1898). Die räumliche und zeitliche Ausbreitung der Gravitation, *Zeitschrift für Mathematik und Physik*, 43, 93-104. Disponible en: <https://www.e-rara.ch/zut/content/titleinfo/28412093>.
- Maxwell, J. C. (1954). *A Treatise of Electricity and magnetism*. Dover, New York. Ver capítulo XXIII.
- Roseveare, N.T. (1982). *Mercury's perihelion. From Le Verrier to Einstein*. Clarendon Press, Oxford. Ver discusión desde la página 142 en adelante.
- Nordström, G. (1913). Zur Theorie der Gravitation vom Standpunkt des Relativitätsprinzips, *Annals der Physik*, Volume 347, Issue 13. Disponible en <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/andp.19133471303>.
- Abraham, M. (1915). Neure Gravitationstheorien, *Jahrbuch der Radioakt. U. Elektronik* XI. 4 Disponible en <https://dlc.mpg.de/fullscreen/1800098030/1/>.

- Einstein, A. (1911). Über den Einfluss der Schwerkraft auf die Ausbreitung des Lichtes, *Jahrb. f. Radioakt. u. Elektronik* IV. 4. Disponible en [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ andp.19113401005](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/andp.19113401005)
- Einstein, A. y Grassmann M. (1913). *Entwurf einer Verallgemeinerten Relativitätstheorie und einer Theorie der gravitation*, Druck und Verlag von B.G. Teubner. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01999515>
- Earman, J. y Glymour, C. (1978). Einstein and Hilbert: Two months in the history of general relativity. *Arch. Hist. Exact Sci.* 19, 291–308. Disponible en <https://doi.org/10.1007/BF00357583>
- Janssen, M. y Renn, J. (2015). Arch and scaffold: How Einstein found his field equations, *Physics Today*, número de noviembre, pag. 30. Disponible en <https://pubs.aip.org/physicstoday/article/68/11/30/414987/Arch-and-scaffold-How-Einstein-found-his-field>
- Schwarzschild, K. (1998). *Gesammelte Werke*, Springer Verlag.
- Pais, A. (1984). El Señor es sutil. La ciencia y la vida de A. Einstein. Editorial Ariel, España.



Nuevos aportes y reflexiones en torno a los asterismos moqoit, y síntesis de sus relaciones con los meteoritos de Campo del Cielo

Alejandro M. López*

Resumen

Los conocimientos sobre el cielo de los *moqoit* del Chaco argentino han sido objeto de interés de los no indígenas desde muy temprano (Guevara (1969[1764]), Paucke (2010[1749-1767]), Roberto Lehmann-Nitsche (1924-25, 1927)). En los inicios de la indagación sistemática contemporánea de las astronomías indígenas de Argentina abordamos un mapeo general de los asterismos moqoit (Giménez Benítez, López, & Granada, 2002), repensado algo más adelante (López, 2009a). Ese fue uno de los primeros trabajos de una larga serie, que ha cubierto una gran variedad de tópicos de la astronomía *moqoit* y sus lógicas profundas. Pese a ello, no se ha vuelto específicamente sobre los asterismos *moqoit* en su conjunto para una reflexión actualizada. Aquí discutimos resultados de quince años de trabajo de campo acumulado desde 2009. Además, realizamos una síntesis de las relaciones moqoit con los meteoritos de Campo del Cielo, un tópico central de sus vínculos con lo celeste.

Palabras clave: moqoit; etnoastronomía; asterismos; oralidad; meteoritos

Abstract

Knowledge about the sky held by the *Moqoit* people of the Argentine Chaco has been of interest to non-indigenous people from very early date (Guevara (1969[1764]), Paucke (2010[1749-1767]), Roberto Lehman-Nitsche (1924-25, 1927)). In the early stages of contemporary systematic research of indigenous astronomies in Argentina, we conducted

* UBA – CONICET

a general mapping of *Moqoit* asterisms (Giménez Benítez, López, & Granada, 2002) which was later rethought (López, 2009a). This was one of the first studies in a long series, that has covered a wide variety of topics related to *Moqoit* astronomy and its deep logic. Despite this, there has not yet been a study addressing the *Moqoit* asterisms as a whole for an updated reflection. Here we discuss results from fifteen years of fieldwork accumulated since 2009. Additionally, we provide a synthesis of the *Moqoit* relationships with Campo del Cielo meteorites, a central topic of their links with the celestial realm.

Keywords: Moqoit: ethnoastronomy; asterisms; orality; meteorites.

1. Los moqoit

Los *moqoit*¹ (mocoví en castellano, aunque hoy día hay una tendencia dentro de este grupo al uso de *moqoit* incluso cuando se habla en castellano) constituyen un grupo aborigen que habita el SO de la región chaqueña, en la República Argentina. Pertenecen al grupo lingüístico guaycurú, como los qom, los toba del oeste, los abipones, los pilagás y los caduveos, con los que conforman una cadena étnica (Braunstein, Salceda, Calandra, Méndez & Ferrarini, 2002). Antes de la llegada de los españoles, se organizaban en grupos de familias emparentadas que se movilizaban llevando a cabo actividades de caza y recolección próximos al río Bermejo. La presión española, sobre todo después de 1710, hizo que los *moqoit* se asentasen más al sur, en la zona austral de la provincia argentina de Chaco y el norte de la provincia de Santa Fe. Durante el siglo XVII incorporaron el caballo y el ganado vacuno, que cobraron un rol protagónico (Nesis, 2005). A mediados del siglo XVIII se fundaron entre ellos misiones a cargo de los jesuitas (Guevara (1969[1764]), Paucke (2010[1749-1767])). Luego de su expulsión (1767), los mercedarios se harán cargo de las misiones jesuíticas durante un breve período, seguidos por los franciscanos.

A fines del siglo XIX y principios del siglo XX, el avance de la frontera agrícola y las campañas militares del estado argentino, llevaron a la sedentarización forzada de los *moqoit*, y a su gradual incorporación al mercado

¹ Las palabras en *Moqoit la'qaatqa* (lengua moqoit) han sido transcritas usando el “alfabeto” más usado en las propias comunidades al día de hoy, el propuesto en el Vocabulario Mocovi de Alfred Buckwalter (1995).

laboral como peones rurales. La enorme tensión que generó este proceso desembocó, en la primera mitad del siglo XX, en una serie de movimientos de protesta contra la situación de explotación impuesta por la sociedad nacional (San Javier en 1904, Florencia en 1905, Napalpí en 1924, el Zapallaren 1933), que incluyeron importantes reflexiones cosmológicas (Cordeu & Siffredi, 1971; Salamanca, 2010). De hecho, el juicio por la verdad sobre la masacre de Napalpí², llevado adelante entre el 19 de abril y el 19 de mayo de 2022, se ha constituido en el hito más reciente en el reconocimiento de la responsabilidad estatal en estas masacres invisibilizadas. Se trata del primer juicio oral que investigó como crímenes de lesa humanidad los delitos cometidos contra pueblos originarios en Argentina. Para los años sesenta, el evangelio (una compleja reelaboración aborigen del cristianismo surgida en la década de 1940 a partir de las interacciones de los indígenas chaqueños, especialmente los qom de Chaco y del oriente formoseño, con misioneros protestantes de diferentes denominaciones) comenzó a cobrar relevancia entre los *moqoit*. En la actualidad es un factor importantísimo en la organización de muchas comunidades (Altman, 2017).

Actualmente, los *moqoit* viven en comunidades rurales, urbanas y periurbanas, principalmente en las provincias de Chaco y Santa Fe. Su población es de alrededor de 18.000 personas (INDEC 2024). A lo largo de más de veinte años hemos realizado trabajo de campo etnográfico en muchas de estas comunidades, incluyendo Santa Rosa y San Lorenzo (parte de la Colonia General Necochea o Colonia Cacique Catán, conocida en general como Las Tolderías), Colonia Juan Larrea, Colonia El Pastoril, San Bernardo, Colonia Aborigen Chaco, de la provincia del Chaco, y Recreo y Tostado de la provincia de Santa Fe.

2 <https://www.argentina.gob.ar/noticias/masacre-de-napalpi-la-justicia-federal-de-chaco-considero-que-se-trato-de-crimenes-de-lesa>



Figura 1. Mapa de las zonas con mayor presencia *moqoit* (El autor).

II. Revisión de la estructura general del cosmos *moqoit*

Cualquier abordaje de los asterismos³ *moqoit* debe incluir una discusión de la estructura general del cosmos tal como es concebido por este grupo. Un

3 En la astronomía cultural se usa el término asterismo para referirse a cualquier conjunto de rasgos significativos en el cielo al que un grupo humano otorgue

punto clave para comprender los modelos cosmológicos y las cosmovisiones de sociedades en las que la oralidad y una estructura basada en pequeños grupos de parentesco juegan un rol central, es su conceptualización de cambio y continuidad. Así, por ejemplo, las categorías y los marcos categoriales de estas sociedades tienden a ser fuertemente contextuales y situacionales. No existe un único “plano del cosmos”, este dependerá de con quién se hable, el tema de conversación, qué aspectos de la realidad se está buscando examinar y otras variables situacionales. Además, los modos específicos de conciencia histórica de grupos como los *moqoit* (Hill, 1988), que en gran medida están relacionados con la psicodinámica típica de la oralidad primaria y secundaria (Goody, 1996; Ong, 1996), implican el uso de modelos flexibles del pasado que se reajustan para dar cuenta del cambio.

El cosmos *moqoit* es ante todo un cosmos poblado por una multitud de sociedades de seres intencionales, humanos y no-humanos. Ese cosmos está formado y moldeado por una red de todo tipo de relaciones entre estas sociedades (López, 2016), relaciones asimétricas debido a las diferencias de poder entre cada una de estas entidades. En línea con esto, el interés humano por conocer el cosmos se articula por una cosmopolítica⁴

sentido. Se trata, como vemos, de una generalización del concepto de constelación que busca posibilitar referirse de manera no etnocéntrica a los muy diversos rasgos del cielo nocturno a los que diferentes sociedades prestan atención como grupo.

4 El concepto de cosmopolítica fue planteado por Isabelle Stengers (1997) para dar cuenta de los múltiples y divergentes mundos humanos y no humanos y sus articulaciones mutuas. Latour (2004, p. 454) ha señalado que el “cosmos” sirve aquí para eliminar el concepto de “política” de la esfera exclusivamente humana, y el de “política” para erradicar la noción de una lista determinada de entidades relevantes del “cosmos”. Otros autores como Marisol de La Cadena (2010) o Mario Blaser (2016) utilizan este concepto de manera similar. Asimismo, nuestro uso del término está relacionado con el de Viveiros de Castro (2010), lo que puede vincularse con sus comentarios sobre los chamanes amazónicos (Viveiros de Castro, 1996, pp. 119-120). Según el autor, estas últimas se caracterizan por su capacidad de “cruzar deliberadamente las barreras corporales y adoptar la perspectiva de [otras] subjetividades [...] para gestionar las relaciones entre éstas y los seres humanos” (Viveiros de Castro, 2002, p. 358). Él ve esto como un verdadero “arte político, una diplomacia” (Viveiros de Castro, 2002 p. 358). En esta dirección, entendemos la cosmopolítica *moqoit* como prácticas y teorías sobre las relaciones de poder de diversos colectivos sociales humanos y no-humanos que estructuran el mundo *moqoit*.

vinculada a las formas más adecuadas de gestionar la propia existencia y la del grupo en esta compleja red de relaciones (Giménez Benítez, López & Granada, 2002).

La propia corporalidad de los seres que pueblan el cosmos está determinada por su escala de poder (López, 2016). Para los *moqoit*, el poder o *quesaxanaxa* es lo que hace que alguien o algo sea capaz de ser fértil, rico, abundante o de realizar una acción eficiente. En última instancia, cualquier habilidad, característica o acción especial requiere que su agente posea el poder correspondiente. El *quesaxanaxa* es particularmente abundante en ciertos seres, protagonistas de la “época de los orígenes”. Forman un grupo heterogéneo conocido como poderosos (seres con una cantidad significativa de poder) o *quesaxanaxaic*, considerados especialmente fértiles, generosos e inmoderados por la escala de su poder. Dado que el brillo es entendido como una manifestación de poder y dado que las aguas fecundas provienen del cielo, este es para los *moqoit* un espacio especialmente potente y habitado por *quesaxanaxaic* (Giménez Benítez, López, & Granada, 2002).

Para los *moqoit* los límites corporales son difusos y porosos y los fluidos corporales portan intencionalidades (López, 2013). Múltiples agentes intencionales pueden coexistir en una misma corporalidad y múltiples regímenes corporales son accesibles a un mismo agente. Es la escala de poder de un ser la que parece definir la variedad de regímenes corporales que este tiene habilitados (López, 2016). Los seres que dieron origen al mundo, plenos de potencia, tienen acceso a múltiples regímenes corporales (astronómicos, atmosféricos, antropomorfos, zoomorfos, etc.). Los humanos contemporáneos habitualmente solo a uno, pero durante el sueño, con un poder incrementado, pueden acceder a otros. Los *pi'xonaq* y *pi'xonaxa* (samanes masculinos y femeninos) son humanos con acceso a un mayor poder que los demás y por tanto más corporalidades.

Pero, además, es la presencia de las entidades la que da textura y construye la propia topología del cosmos (López, 2013). De hecho, los seres potentes pueden transitar por los más diversos ámbitos cósmicos (López & Giménez Benítez, 2008). Otro punto crucial es que el cosmos *moqoit* es un mundo en el que las “unidades” del más diverso tipo (la persona, el grupo social, el cosmos) son inestables y fruto de un trabajo intenso y continuado (López & Altman, 2022). Diversas intencionalidades y materialidades se reúnen en conjuntos más o menos duraderos, se separan y vuelven a

reunirse (de la misma o de otras maneras). Este carácter flexible y temporal de las “unidades”, hace que la articulación entre sus “componentes” sea flexible y dinámica. Esto se aplica también al cosmos en general. De este modo, el cosmos *moqoit* está articulado esencialmente por movimientos, y es a partir de los movimientos que se originará la experiencia del espacio y del tiempo. Este cosmos dinámicamente unido es amenazante ya que su unidad requiere la intervención constante de entidades para garantizarla, incluyendo a los humanos, lo que puede verse en los relatos *moqoit* sobre la caída de la Sol (Guevara, 1969[1764], p. 65)

En este sentido el cielo, como parte de un cosmos relacional, está caracterizado por sus vínculos con otras componentes del mismo, incluyendo el mundo humano. El horizonte, como zona de interacción entre lo terrestre y lo celeste, pero también los crepúsculos como interacción entre el régimen diurno y el régimen nocturno, son, por ello, fundamentales. Eso determinará que sean justamente los crepúsculos (en el sentido amplio de los períodos previos y posteriores al atardecer y al amanecer) los momentos para la experiencia del cielo y la conversación sobre sus características y los seres que lo habitan (López, 2020).

El cielo tiene un papel fundamental, aunque no aislado, en esta articulación del cosmos. Los movimientos de la Vía Láctea (Nayic, camino) son cruciales para la misma. No se trata tanto de que la Vía Láctea en sí misma sea lo que estructura este cosmos (como propusiéramos en trabajos previos (Giménez Benítez et al., 2002; López & Giménez Benítez, 2008)) sino que son sus movimientos durante la noche y a lo largo de sucesivas noches lo que cumple esa función. Su “salir” y “ponerse” es fundamental para organizar el cosmos. La “astronomía *moqoit*” es una verdadera “astronomía de la Vía Láctea” (López, 2022b), en la que los movimientos de la misma tienen un rol organizador central. Los *moqoit* entienden que los asterismos se mueven acompañando al Nayic, y eso se les hace especialmente evidente al estar la mayoría de estos dispuestos en su cercanía, o incluso estar conformados por zonas oscuras dentro del mismo, como el Mañic o ñandú. En este sentido los movimientos anuales de la Sol en su conexión con los de la Vía Láctea y los de las Pléyades o Lapilalaxachi serán fundamentales. Las zonas de intersección del Nayic con el movimiento anual del Sol son muy próximas a las posiciones de las Pléyades y la región de Escorpio. Los *moqoit* establecen especialmente la relación entre el solsticio

de junio, la “vuelta del sol” desde el norte, y la salida heliaca de las Pléyades (López, 2009b).

En la observación de fenómenos en el cielo algunas de las características a las que prestan atención los *moqoit* y que resultan relevantes al hablar de asterismos son (López, 2020): el contraste presencia/ausencia (aunque no solo entendido como visible/no visible), el contraste brillo/obscuridad, el brillo y el color (así como sus cambios), el centelleo, el carácter difuso o puntual; si se trata de algo aislado o forma parte de un grupo. En referencia al movimiento de aquellos astros que se mueven de un modo regular, se presta especial atención, por un lado, a la salida por sobre el horizonte y a la puesta (pero no solo en el sentido estricto del momento en que exactamente emergen o se ponen sino a los tiempos próximos a dichos momentos). En algunos casos también se presta atención al momento en que el astro en cuestión alcanza su culminación superior (o se encuentra en las cercanías de su máxima altura sobre el horizonte). Como hemos desarrollado en otros trabajos (López, 2020), los momentos usuales de la observación del cielo nocturno son los crepúsculos entendidos como las horas previas al amanecer y posteriores al atardecer.

III. Relatos míticos y el cielo

Los rasgos que comentamos sobre las formas *moqoit* de concebir el cosmos y su flexibilidad dinámicamente organizada se reflejan también en el modo en que se construyen sus relatos sobre el tiempo de los orígenes, las entidades que modelan el cosmos y el ámbito celeste. En este sentido, un punto muy importante para tener en cuenta es que los relatos míticos *moqoit* no constituyen, por lo que hemos podido observar en nuestra experiencia, un corpus de historias estático conformado por un conjunto de historias fijas. Las personas con la autoridad para hablar de este tipo de cuestiones, los ancianos (entendiendo este término como persona con autoridad y no simplemente en términos etarios), llevan adelante al narrar “historias de los antiguos” una verdadera performance creativa que implica enlazar una serie de elementos para conformar relatos y grupos conectados de relatos, ya que lo más frecuente es que se cuente en sucesión todo un conjunto de historias enlazadas. Las más variadas circunstancias de la vida cotidiana pueden motivar que la conversación haga referencia a alguna de estas historias. También, hasta no hace mucho, era frecuente

que uno o más jóvenes le solicitaran a un anciano que les contara las “historias de los antiguos”, para lo cual iban por la noche a donde éste vivía y le cocinaban. Repetidamente se insiste en que los interesados debían pasar en vela toda la noche para escuchar toda la secuencia de relatos, no uno aislado. Esta experiencia de relatar durante toda la noche, que asumía características iniciáticas, era entendida como un evento excepcional, propio de, por ejemplo, la noche previa a la salida heliaca de las Pléyades. Esta excepcionalidad, que la hace destacarse como evento iniciático, en buena parte se debe al hecho de que, como ya mencionamos, habitualmente esa exposición a lo nocturno y sus potencias suele darse en los crepúsculos y no durante toda la noche. La exposición en el medio o interior de la noche (pe lauel) a estas entidades y el relato del conjunto de historias que las hacen presentes implica un carácter particularmente potente que puede provocar crisis y enfermedades en quienes “no poseen el coraje” (se rañiigui lauel) necesario y no cumplen con las formalidades requeridas.

Los elementos que se enlazan para conformar estas series de relatos no constituyen un conjunto de unidades de análisis definidas por el investigador, como en el caso de los “mitemas” de Levi-Strauss (1987) o los “motivos” de los estudios de folklore (Thompson, 1955-58). Por el contrario, nos referimos a un conjunto variado de elementos (“personajes” con una serie de características, episodios, propiedades o funciones asignadas a una entidad, etc.) que funcionan como bloques constructivos en la performance narrativa y que son identificados por la observación etnográfica de las prácticas narrativas concretas. Estos “bloques” o “eslabones” se encadenan por diversos procedimientos que incluyen factores ligados a las reacciones o preguntas de la audiencia. Entre estos mecanismos de enlace podemos mencionar el uso de similitudes formales o de personajes, así como analogías entre episodios, que generan puentes o conexiones. Estos encadenamientos no responden a un patrón prefijado, sino que, dentro de un campo semántico de posibilidades brindado por la común experiencia sociocultural del narrador y sus oyentes, el narrador va creativamente construyendo los lazos oportunos. Este proceder, que hemos observado en las performances narrativas sobre el cielo de los *moqoit*, está ligado a dinámicas generales de la oralidad y por lo tanto podría encontrarse en otros grupos (lo cual invita a prestar atención etnográficamente a ello en el campo de la etnoastronomía de grupos en los que la oralidad juega un rol central). Por eso, no son conexiones caprichosas, aunque tampo-

co obedecen a un repertorio fijo. Según su recurrencia en diferentes situaciones y en boca de diferentes narradores pueden ubicarse dentro de un amplio espectro: desde menciones idiosincráticas y esporádicas, hasta identificaciones muy estables a las que casi todos los narradores recurren. Dentro de esa amplia gama de posibilidades el arte de los narradores construye las historias en el mismo proceso de enlazar estos bloques para construir series conectadas de relatos.

Es esta perspectiva la que nos impulsa a abordar los asterismos *moqoit* de una manera próxima a su real dinámica en la vida social de este grupo. Eso hace que podamos comprender mejor las variaciones encontradas en las historias asociadas a los mismos, su identificación en el cielo, sus nombres y sus conexiones con otros asterismos. Las variantes no son por tanto “errores”, ni hablan de conjunto determinado y bien definido de “tradiciones” diferentes. Cuando damos una lista de asterismos y sus características estamos aproximándonos desde la escritura a una práctica oral con reglas y principios de construcción que solo podemos reflejar de forma aproximada. Esta flexibilidad de la forma en que la cultura oral *moqoit* elabora sus relatos sobre el cielo es también importante a la hora de valorar las variaciones en los mismos debidas a los cambios sociales ligados, por ejemplo, a la llegada de los españoles y posteriormente a la incorporación al Estado Nacional. Estos cambios y variaciones, más allá de las discontinuidades y rupturas impuestas por procesos tan dramáticos como los mencionados, no vienen a desnaturalizar un corpus estático y uniforme. Por el contrario, los cambios que estos procesos implican son procesados por la oralidad *moqoit* mediante mecanismos cualitativamente similares a los que han producido en el pasado las variaciones en los relatos de las que hablamos. Creemos, como mencionamos, que este enfoque podría aplicarse al abordaje de las narrativas de otros grupos en los que la oralidad juega un rol importante, pero ello debería sustentarse en la comprobación etnográfica de sus prácticas concretas.

IV. Nuevos datos sobre asterismos

En esta sección del texto no podemos hacer (por razones de espacio) un recorrido completo por todos los datos ya publicados sobre los asterismos *moqoit*. Por el contrario, nos vamos a concentrar en datos y perspectivas novedosas respecto a lo recogido en publicaciones anteriores (en especial



respecto a lo plasmado en nuestro trabajo previo (Giménez Benítez et al., 2002)) aunque a veces debamos hacer referencia a dichos datos previos para que se comprenda lo nuevo. En referencia a las perspectivas novedosas, creemos que la central es que, teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente sobre los modos del narrar *moqoit*, no buscamos solamente dar cuenta de relatos o identificaciones celestes extendidas a todos o la mayoría de los *moqoit*. En este texto, señalando su carácter de circulación limitada (o nuestro limitado conocimiento sobre su circulación), mencionaremos asterismos y relatos que (más allá de la generalidad específica de los mismos) dan cuenta de mecanismos generales que los *moqoit* contemporáneos ponen en acción al pensar creativamente el cielo a partir de los elementos y lógicas de su cosmovisión. Es decir, entendemos que para dar cuenta de una mirada sobre el cielo con las características descriptas en la sección previa no alcanza (aunque sea necesario) con describir el elenco de los asterismos más estables y extendidos entre los miembros de ese grupo. También es necesario abordar los modos característicos en los que se construyen improvisaciones regladas (Martínez 2007, pp. 138-139), elaborando relatos y rasgos del cielo siguiendo las lógicas de las concepciones socialmente construidas por su grupo sobre esta parte del cosmos. De hecho, en una cultura donde la oralidad juega un rol central y donde no existen instituciones centralizadas de regulación del conocimiento, la diferencia entre los asterismos más estables y extendidos y los demás es de grado, no cualitativa. Para avanzar en esa dirección es que incluimos ejemplos (indicando el grado de circulación que hemos encontrado para evitar confusiones) que nos permiten evidenciar como, personas a las que se les reconoce conocimiento sobre el cielo, construyen hoy discursos sobre el mismo que son aceptados como razonables por los miembros del grupo con los que interactúan. Es importante tener presente que dada la estructura social de los *moqoit* ese espacio de interacción social (y por tanto de regulación de los discursos sobre el cielo) está en buena medida organizado por las redes de parentesco. A ello deben sumarse los procesos de diversificación favorecidos por los rápidos cambios debido a la sedentarización forzosa, la incorporación al estado nación y más recientemente al abandono parcial de las zonas rurales y la llegada a estas de la luz eléctrica. Otra característica que puede apreciarse en algunos casos es la presencia de elementos propios de la vida contemporánea (como automóviles,

cadena, etc.) lo cual muestra el estado vivo y creativo de la astronomía *moqoit* contemporánea y del pasado reciente.

Lapilalaxachi

Este asterismo, asociado al grupo de estrellas que la astronomía académica denomina las Pléyades, es uno de los más relevantes para los *moqoit* de toda la región de estudio. En nuestros trabajos previos hemos abordado extensamente este asterismo y ya hemos mencionado la relevancia de su posición en el cielo nocturno para el ciclo anual *moqoit*, especialmente su salida heliacal (Giménez Benítez, López & Granada, 2002; López, 2009b).

Respecto a este importante asterismo en este trabajo queremos mencionar dos elementos nuevos. Por una parte, queremos destacar que el nombre de este asterismo hace referencia explícita a las heladas, lo blanco y las canas, todos elementos que forman parte recurrente de las menciones a cuál debe ser el comportamiento humano respecto al mismo (ya que su aparición heliaca es mencionada como seña de las primeras heladas y no permanecer en vela en la víspera de esta puede encanecer prematuramente a una persona). Lapilalaxachi se conecta con los términos *lapi'*, su abuelo; *lalaxa*, su blancura, y *lalaxai*, sus canas. El hecho de que este nombre se asocie también a una planta epífita (*Tillandsia* spp.), y su floración para la época de la salida heliaca del asterismo (López, 2009a, p. 268) ya fue mencionado en trabajos previos. Pero podemos agregar que algunos testimonios, como el de Rodolfo Acosta de San Lorenzo (2023), anciano al que se le reconoce conocimientos sobre el cielo, conectan el riesgo de encanecer prematuramente con la observación de la primera floración de la planta (especialmente si coincide con la primera visibilidad de la luna creciente y menos probable si se da en luna llena). Esto, por un lado, refuerza la identificación de la planta con el grupo de estrellas y su primera floración con la salida heliaca del asterismo. Por otra parte, el refuerzo que supondría la primera visibilidad del creciente lunar, más allá de no ser algo que manifiesten todos los interlocutores *moqoit*, se construye con una lógica de fondo que sí es general. Se trata de la conexión entre la salida heliaca de Lapilalaxachi y la floración de la planta del mismo nombre con la idea de inicio de un ciclo de crecimiento (concepto con el que se suele vincular a la primera visibilidad del creciente lunar, *chicqochingui shirai-go* (Giménez Benítez, López & Granada, 2006)).

Nasalaxani

Este asterismo, identificado como el “cinturón de Orión” por la astronomía académica, es asociado frecuentemente a tres viudas, siendo la del centro la madre de las otras dos (Giménez Benítez et al., 2002). El conjunto de los testimonios recogidos en estos años refuerza la idea de que la reaparición de estas estrellas se da y es pensada junto con la de las Pléyades. En conjunción con ello, testimonios recogidos en Colonia el Pastoril (por ejemplo, Martín Manito, respetado líder, 2018) refuerzan la relación de estas estrellas con las primeras heladas. Esto parece en línea con lo observado para los pilagás del Pilcomayo (Gómez & Braunstein, 2020; Reboledo Ruiz Díaz, 2021), aunque sin la distinción encontrada en este caso de un “frio más intenso” asociado al cinturón de Orión. Esto parece contrastante con la afirmación de Lehmann-Nitsche (1924-1925) que recogiéramos en nuestro trabajo previo (Giménez Benítez et al., 2002), quien menciona que una de estas estrellas (probablemente la central) sería “llamada ‘Nuestra Madre’, como dueña y patrona del verano” (Lehmann-Nitsche 1924-1925, p. 79). Pero un examen detenido de este texto de Lehmann-Nitsche muestra que esta afirmación (supuestamente basada en el testimonio en 1924 de Teresa “Komniik” Miranda, “curandera” radicada en Quitilipi, Chaco) en realidad parece contradecir lo dicho por el mismo autor en el mismo texto sobre ese testimonio. Previamente, endicho texto, el autor menciona que lo relevante es “la primera aparición de las ‘Tres Marías’” (Lehmann-Nitsche 1924-1925, p. 78) con cuya vuelta “viene el buen tiempo y comienza a criarse el pasto” (Lehmann-Nitsche 1924-1925, p. 78). A eso agrega que los ñandúes se juntan y anidan cuando “viene el buen tiempo, o sea cuando aparecen las tres Marías y las Siete Cabrillas” (en nota al pie aclara que eso es entre junio y julio) (Lehmann-Nitsche 1924-1925, p. 79). Luego, “en la primavera” cuando “crece bien el pasto”, los pichones abandonan el nido y se alimentan de las flores (Lehmann-Nitsche 1924-1925, p. 79). Todo esto es consistente con la idea de que la salida heliaca de Pléyades y Cinturón de Orión se asocia a las primeras heladas, que ponen las bases de la fecundidad de la próxima primavera. Esa idea la hemos encontrado recurrentemente en muchos testimonios contemporáneos (López 2009b). Por todo esto, la mención al “verano” por parte de Lehmann-Nitsche al fin de la página 79 de su texto,

que se supone un resumen del testimonio ya mencionado, resulta muy posiblemente un equívoco del autor.

Pohe y Qaqare

El testimonio de numerosos interlocutores, como lo hemos señalado en trabajos previos (Giménez Benítez et al., 2002), nos permiten afirmar que las aves llamadas Pohe (*cathartes aura*) y Qaqare (*caracara plancus*) son frecuente intercambiadas al ser mencionadas en relatos míticos e identificadas en el cielo. De hecho, la identificación celeste de estas aves tampoco parece ser unívoca, ya que puede vincularse a diversas estrellas rojizas importantes, visibles en las horas posteriores al crepúsculo vespertino, siendo las más usuales Antares o Aldebarán, según la época del ciclo anual (Giménez Benítez et al., 2002). El brillo intenso y el color rojo son los diacríticos cruciales y son muy característicos de las lógicas *moqoit* (López, 2020). Pese a ello, hemos encontrado en los últimos años mayor cantidad de testimonios asociando estos personajes con la estrella Antares. Incluso algunos de estos testimonios, como el de Martín Manito (principios de junio de 2018) de El Pastoril, Chaco, hablan de un uso de Pohe/Qaqare como “seña” del frío, reforzando esta asociación con Antares. No pretendemos indicar con esto un uso general de Pohe/Qaqare como “seña” del frío, pero sí el hecho de que puede ser contextualmente pensado como tal. En una dirección similar, el marco del relato en el que aparezca la mención al personaje puede reforzar alguna de sus identificaciones celestes. Así, por ejemplo, cuando se menciona una identificación celeste de Pohe/Qaqare a raíz de estar narrando los relatos del “robo del fuego” o “los hermanitos perdidos”, dicha conexión estelar se hace con Antares. En este caso, el hecho de que tanto los “hermanitos” como las “palomitas” que aparecen en el segundo de estos relatos se identifiquen con estrellas de la región de Escorpio (Giménez Benítez et al., 2002) podría ser un factor que favorezca la tendencia a identificar Pohe/Qaqare con Antares, que se encuentra en la misma región del cielo.

Piñai

Marcos Gómez de Las Tolderías, de gran experiencia y muy respetado como conocedor del cielo en las comunidades *moqoit* del Suroeste del Chaco, mencionó en mayo de 2022 que a un conjunto de muchas estrellas juntas (cuya ubicación no precisó) se lo llamaba Piñai, es decir “langostas”. No hemos encontrado otras referencias a estas estrellas en la literatura ni otras menciones en nuestro registro de campo, pero, como es usual entre los *moqoit*, el conformar un grupo de luminarias muy próximas en un criterio de relevancia. Esto podría indicar una construcción idiosincrática de Marcos Gómez en el contexto de la flexibilidad y la construcción situada de relatos de la que ya hemos hablado. También podría tratarse de una denominación de poco uso contemporáneo. Pero, aunque no podemos discernir entre ambas opciones, es importante consignar lo recogido para que quede registro de ello y pueda a futuro ser tenido en cuenta para otros relevamientos.

Pri’

Según Anselmo Córdoba de El Pastoril (2021, 2022, 2024) y Rodolfo Acosta de San Lorenzo, en Las Tolderías (2023), ambos ancianos a los que se les reconoce conocimiento sobre el cielo, se denominaría Pri’ al asterismo conocido en la astronomía académica como “El puñal de Orión”, que incluye a la Nebulosa de Orión. Anselmo Córdoba resaltó en sus comentarios sobre Pri’, que estas estrellas se ven “como un montoncito de estrellas que parpadean”, referencia en la que podemos apreciar la aplicación de criterios de relevancia propios de las lógicas *moqoit* para el cielo, como lo son el conformar un grupo y el centelleo. En el caso de Córdoba, las menciones a Pri’ surgieron tras referirse a Nasalaxani, las viudas, el asterismo que corresponde al Cinturón de Orión. Se trata de un rasgo del cielo sobre el cual no hemos podido recoger en trabajos anteriores ninguna mención *moqoit* y sobre el que las menciones para grupos vinculados son poco claras (Bukwalter y Litwiller de Buckwalter, 2001; Lehmann-Nitsche 1924-25b), por lo que estos datos resultan de interés.



Figura 2. Ubicación del asterismo Pri', sobre imagen tomada del programa Stellarium (El autor).

V. Los muertos por el Mañic

Algunos interlocutores (Marcos y Francisco Gómez, 2011), respetados como ancianos y conocedores del cielo, en Las Tolderías, Chaco, señalaron a un grupo grande y no bien definido de estrellas que incluye estrellas del Centauro (θ , ζ , ϵ , η , κ) y de Lupus (α , β , γ , δ , ϵ , ζ , $\kappa 1$, $\phi 1$) en el contexto de la narración de la caza del Mañic y su persecución hasta que se elevó al cielo. Las estrellas en cuestión fueron señaladas como los poderosos/antiguos *moqoit* a los que el Mañic, el ñandú que ahora se ve en las manchas oscuras de la Vía Láctea, devoró antes de ser obligado a huir al cielo. Esta mención, en el contexto de una performance narrativa, debe valorarse a la luz de lo que mencionábamos sobre las formas en que se dan

estas construcciones, lo cual se aplica no solo a los elementos narrativos sino también los soportes visuales o sensoriales de dichas performances (como estas estrellas) que son indicados por él o los narradores mientras narran. No hemos sido testigos de otro uso de estas estrellas específicas para acompañar este elemento de la historia, por lo que no buscamos con su inclusión aquí afirmar que se trata de un asterismo reconocido de manera extendida entre los *moqoit*. Pero, como señalamos antes, dadas las formas de construcción y circulación de estos relatos en sociedades como la *moqoit*, hay todo un continuo desde elementos muy generalizados y que tienden a repetirse (aunque no siempre y no siempre igual) hasta creaciones de un narrador particular en una performance específica que no se repetirán otra vez. Quienes poseen la legitimidad para hablar de estos temas (usualmente ancianos y líderes, ver (López, 2011)) construyen y tienden a impulsar narrativas y elementos sensoriales asociados que, más allá de la difusión que alcancen, son parte y nos informan sobre los modos del discurso acerca del cielo en este grupo. Por otra parte, el soporte sensible de esta mención sigue criterios usuales entre los *moqoit*, como es el de la relevancia de los grupos de luminarias.



Figura 3. Ubicación del asterismo, señalado por Marcos y Francisco Gómez, de “los muertos” junto al Mañic o ñandú celestial, sobre imagen tomada del programa Stellarium (El autor).

Toro leta’a, el toro en el cielo

El toro *leta’a* o “padre de los toros” es el nombre que muchos *moqoit* dan a un ser poderoso que se manifiesta habitualmente con la forma de un toro con cuernos brillantes, “de oro”, y que suele asociarse a aguadas permanentes. En este sentido, y como nuevo ejemplo de las formas fluidas que toman las nominaciones entre los *moqoit*, es habitual que incluso los mismos interlocutores identifique unas veces como toro *leta’a* y otras como *nanaic ca lo*, al poderoso que controla un ojo de agua específico. En otros casos se describe al propio *nanaic ca lo* como una serpiente con cabeza de toro con cuernos de oro. En ese contexto, y hablando en diferentes oportunidades sobre un bajo que no se seca en Las Tolderías, próximo a la parcela de Marcos y Francisco Gómez, el ser que lo controla, nombrado toro

leta'a, fue recurrentemente asociado por ellos a manifestaciones astronómicas. A fin de agosto de 2006, por ejemplo, señalaron que “salía” por sobre el horizonte poco después que “*Nasalaxani*” (El cinturón de Orión) y junto con el “nuevo camino” (la porción de la Vía Láctea cercana a Orión), antes del amanecer. Al ser indicado en el cielo, resultó identificado con las estrellas δ , ϵ , σ , $\alpha 1$ y $\alpha 2$ de la constelación académica del Can Mayor.

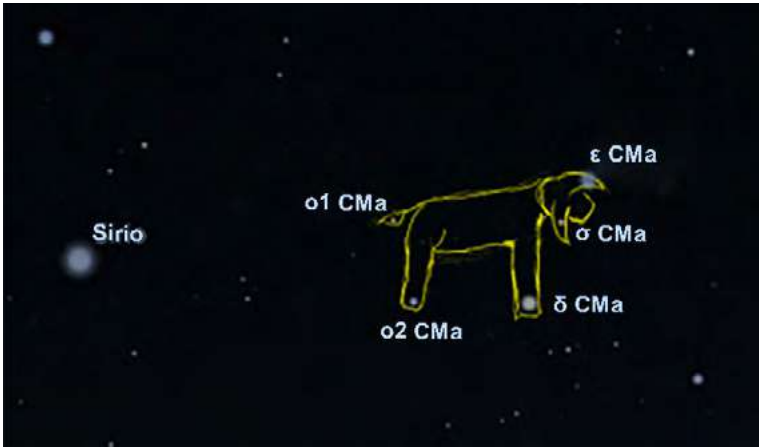


Figura 4. La configuración general de ese grupo de estrellas es la de un cuadrilátero y una estrella extra que prolonga uno de los lados de dicho cuadrilátero (El autor).

A fines de abril de 2011, en las primeras horas de la noche, esa misma entidad fue asociada por los mismos interlocutores con algunas estrellas de la constelación académica de *Corvus* que se veía ascendiendo en el cielo de las primeras horas de la noche. Su cuerpo formado por el cuadrilátero de las estrellas (β , γ , δ , ϵ), y su cuello por α .



Figura 5. (El autor).

En ambos casos la configuración general del grupo de estrellas en cuestión es análoga. Además, ambos grupos se ubican en declinaciones relativamente similares (unos 4° de diferencia), esto hace que los observadores *moqoit* involucrados los vean recorrer un camino por el cielo que les resulta parecido, y en especial salir por una zona parecida del horizonte sudoriental. Dado que tienen una diferencia en ascensión recta de unas 5 horas en cada una de las instancias de observación mencionadas uno de estos grupos estaba ascendiendo desde el horizonte en alguno de los crepúsculos en el sentido extendido del término (tanto en las horas tras el atardecer o en las previas al amanecer). En este caso, coincidiendo con las lógicas *moqoit* generales, lo relevante para Marcos y Francisco parece haber sido que una configuración de estrellas de esta apariencia estuviera ascendiendo desde la zona sud oriental del horizonte en las primeras horas tras el atardecer o en las primeras horas antes del amanecer.

Por otra parte, los datos aportados aquí sobre este asterismo son de interés porque, si bien el “padre de los toros” es una entidad muy importante tanto entre los *moqoit* como entre grupos qom, y hay testimonios qom sobre su presencia en el cielo (Sarra, Robledo & Tola, 2024, p. 37), no se contaba con ninguna identificación específica del mismo como asterismo entre estos grupos hasta el presente.

Nete'ese y Virse: “salir y volver a entrar”

En trabajos anteriores (Giménez Benítez et al., 2002; López, 2009a) mencionamos que los *moqoit* identificaban como *Virse* o “lucero de la tarde” a Venus cuando se ve en el cielo vespertino; y como *Nete'ese* o “lucero matutino” a Venus cuando se ve en el cielo matutino. Pero, todo un conjunto de experiencias posteriores nos ha mostrado que los observadores *moqoit* relacionan estas denominaciones no solo con Venus, sino con diversas luminarias blanco-amarillentas cercanas al horizonte E u O en los crepúsculos matutino o vespertino respectivamente. Así, por ejemplo, en mayo de 2022, Marcos Gómez de Las Tolderías identificó varias veces a Sirio en el horizonte occidental al atardecer con *Virse*.

Pese a que podrían interpretarse dichas asociaciones como “errores” de identificación (basándose simplemente en nuestra propia idea de que la unidad subyacente es el planeta Venus), su recurrencia y sistematicidad nos convenció de que en realidad las características que dan identidad al fenómeno entre los *moqoit* son esas (color, brillo y posición relativa al horizonte E u O en el crepúsculo matutino o vespertino) y no su relación con el planeta Venus. Nuestra convicción se vio reforzada por el hecho de que los *mapuche*, otro grupo sudamericano fundamentalmente cazador-recolector, da muestras de un mecanismo similar (Fu, 2016; Pozo Menares & Canio Llanquinao, 2014, pp. 73-76).

Otro dato interesante es que tanto Marcos como Francisco Gómez describían en 2022 el movimiento de *Virse* en el crepúsculo vespertino con la frase “se ve...y después se pone”, dando a entender que al ir oscureciéndose el cielo era posible verla sobre el horizonte occidental pero que luego (siguiendo lo que académicamente llamaríamos el movimiento general de la esfera celeste) se ponía. Ellos mismos hablando de *Nete'ese* dirán que “al amanecer sale y luego se hace de día”. *Nete'ese* es pensada por estos interlocutores como un astro que sube un poco desde el horizonte oriental y luego vuelve a bajar. Este movimiento de “subida y bajada” es asociado por los interlocutores mencionados con un relato que narraron sobre *Nete'ese* como la Mujer Estrella en el que un *pi'xonaqmoqoit* asciende al cielo con ella (relato que se nos había narrado en varias ocasiones previas). Según el relato, el padre de la mujer no quería al *moqoit*. Por esa antipatía somete al humano a una difícil prueba: recuperar un anillo del estómago de un pez, prueba que supera con la ayuda de un cuchillo y una

fuelle que la chica le da en secreto. Finalmente, ambos deciden escapar en un caballo. La Mujer Estrella advierte al humano que no debe mirar atrás durante la huida porque si lo hace su madre los separará. En la tierra habían pasado como dos años desde su partida. Cuando llegaron a la tierra su perro lo reconoció y una anciana dijo “lo trajo la reina del monte”. Pero en ese momento el hombre desobedeció y miró hacia atrás, entonces la Mujer Estrella hizo una explosión, se generó un *letaxanaxa*, un remolino, y volvió al cielo.

Que'legueraic o Que'leguerai, la guía

Francisco Gómez de Las Tolderías mencionó en 2022 que este astro es como Virse (por su brillo intenso), pero en lugar de verse al oeste y luego ponerse, se ve en el cielo oriental y sigue “toda la noche subiendo y luego baja por el oeste”. Por su brillo, es uno de los primeros astros en verse al atardecer y a medida que va recorriendo la bóveda celeste es percibido como si arrastrara tras de sí a todos los astros que sucesivamente van iniciando su recorrido del cielo nocturno. Marcos Gómez, en la misma oportunidad, comentó que es rojo, similar al *Pohe*, y se ve todo el año. Anselmo Córdoba, del Pastoril, y Marcos Gómez de Las Tolderías, a fines de mayo de 2022 mencionaban que la guía es “parecida al *Pohe*”. El caso de este astro, mencionado como “la guía”, visible durante todo el año, apareciendo al atardecer, como una luminaria brillante, en el horizonte oriental y recorriendo la bóveda celeste durante toda la noche sugiere interesantes paralelismos con lo recabado para el caso mapuche en referencia a *Yepun* (Fu, 2016; Pozo Menares & Canio Llanquinao, 2014, pp. 73-77). En el caso mapuche, este astro que “trae la noche” (de modo análogo a como para el mismo grupo *Wünelwe* (*el lucero*) trae el día correspondería en diferentes momentos del año a distintos astros de la astronomía occidental (Arturo, Júpiter, Sirio) en los que se observa, por un lado, este patrón de movimiento y, por el otro, que poseen un brillo destacado. En el caso *moqoitlos* testimonios recogidos sugieren que algo similar podría estar sucediendo. Anselmo Córdoba y Marcos Gómez identificaron, en sus menciones a fines de mayo de 2022, a Arturo o una estrella próxima con la guía, lo cual parece reforzar la idea de que se trata de un mecanismo similar al identificado entre los *mapuche* por los autores mencionados.

Otro testimonio de 2023, el de Norma Villalba, anciana de El Tabacal, quien es reconocida por cantar en *moqoit* sobre el cielo y el cosmos, identificará a la guía con el nombre *Que'legueraic* (o *Que'leguerai* en femenino). Según Norma sería una estrella tan veloz que no se puede distinguir si es anaranjada o rojiza, ya que parpadea muy velozmente (como ya mencionamos, tanto el color rojizo como el parpadeo intenso son elementos relevantes típicos para construir significatividad entre los *moqoit*). Para Norma es una seña de los *moqoit*, la guía. Su abuelo reunía a su familia cuando veía esta estrella para decirles que iba a pasar. El término *Que'legueraic* podría vincularse al término recogido por el *Vocabulario Toba* (Buckwalter & Litwiller de Buckwalter, 2001): '*eleguedaic*, cuyo sentido es que algo o alguien "es rápido, está apurado".

Más allá del testimonio de estos ancianos, "la guía" no parece ser muy conocida en general por los jóvenes contemporáneos. Algunos interlocutores jóvenes, ante las expresiones de Norma establecen una asociación con un tipo de astros que "caminan rápido" en el cielo, las estrellas fugaces: *huaqajñi najñi* (estrellas caídas), o *huaqajñi la'tec* (excremento de estrellas). No parece ser eso lo que tienen en mente al hablar de la guía algunos de nuestros interlocutores ancianos, especialmente por su insistencia en la visibilidad durante toda la noche y durante todo el año.

Qoqoxoic (cóndor) "con cadenas"

Según repetidos testimonios de Marcos y Francisco Gómez (como por ejemplo en 2018), de las Tolderías, este ser poderoso, se manifiesta como un cóndor con cadenas cruzadas en el pecho con las que engancha cosas de la tierra y las lleva al cielo. De ese modo, nuevas cosas que aparecen en la tierra tienen su contrapartida en el cielo, como los aviones (habría uno en el cielo), y el automóvil. De hecho, habría también un asterismo estelar asociado a este último, que incluso incluiría detalles como el capot y el motor del vehículo. Se ubicaría cerca de *Nasalaxani* y las "guampas de toro", que por la cercanía mencionada a *Nasalaxani* (Cinto de Orión) entendemos que podría ser una referencia a los cuernos del asterismo del Toro leta'a en la versión que lo ubica en *Canis Mayoris*⁵.

⁵ Lehmann-Nitsche en un texto sobre astronomía toba, menciona la inclusión de elementos como automóviles en relatos sobre el cielo (Lehmann-Nitsche, 1923: 283-284). Pero no hace referencia a asterismos asociados a los mismos, ni a la idea

Según Marcos y Francisco Gómez, el *Qoqoxoicviviría* en la cordillera, y/o a orillas del mar, cerca de las Islas Malvinas. Sería “compañero” de San Martín y capaz de transportar al cielo a humanos poderosos como éste. Este cóndor que lleva al cielo todo lo nuevo que aparece en la tierra, debe ser pensado en el contexto de los procesos *moqoit* de reapropiación de la modernidad hegemónica y construcción de variantes locales de la misma, que han comenzado a ser abordados en diversos trabajos (Altman, 2017; López, 2011). La lógica que construye la idea del *Qoqoxoic* como asterismo incluye a los seres no –humanos y a la dimensión celeste del cosmos en el proceso de adoptar y reapropiarse de los objetos de la modernidad hegemónica. De este modo queda en evidencia la idea *moqoit* de que la modernidad hegemónica es un fenómeno que afecta al conjunto del cosmos y no solo al plano terrestre y lo específicamente humano. Las lógicas profundas que estructuran la cosmovisión *moqoit* siguen vivas y actuantes, buscando resignificar las experiencias contemporáneas. En ese sentido, este relato y la presencia de la cordillera y las Islas Malvinas, se conecta con repetidas menciones (por ejemplo, en 2022) de Anselmo Córdoba, de El Pastoril, a que en el pasado, “los padres de su abuela” habrían “cruzado por Buenos Aires, dónde no había casas... y de ahí siguieron y dieron la vuelta por las Malvinas”. Hitos de la historia de la Nación argentina, como la cordillera, San Martín y las Islas Malvinas, pasan a ser elementos en los imaginarios sociales *moqoit* y se incorporan a sus discursos cosmológicos.

VI. Breve síntesis de las relaciones *moqoit* con los meteoritos de Campo del Cielo

No es posible cerrar este texto sin mencionar la importante relación de los *moqoit* con la dispersión meteórica de Campo del Cielo (Giménez Benítez et al., 2004). En esta extensa área de unos 100 km x 3 km se encuentra una

general -que nosotros hemos recogido repetidas veces entre los *moqoit*- de que todo lo que aparece nuevo en la Tierra tiene su contraparte en el mundo celeste. Por otro lado, dicho autor, interesado en reconstruir las ideas sobre el cielo de los toba previas a la llegada de los europeos afirma que estos elementos “para la mitología americana no tienen mayor interés” (Lehmann-Nitsche, 1923: 280). No compartimos su posición, primero porque supone que la “mitología americana” es algo que no cambia ni sigue generándose en el presente, y segundo, porque no considera que el estudio de como se dan estas inclusiones de nuevos elementos nos habla de las lógicas profundas de estas concepciones del cielo.



enorme cantidad de fragmentos metálicos (hierro y níquel) resultado de la fragmentación de un enorme meteorito hace unos 4000 años. Es una de las más extensas dispersiones meteóricas de su tipo y parte de ella son algunos de los fragmentos meteóricos más grandes del mundo (el 2° y el 3°).

Los españoles supieron de estos fragmentos (muchos de ellos visibles en la superficie) por el testimonio de la población originaria. Esos pobladores originarios insistían en el carácter celeste de los fragmentos metálicos, a pesar de que para los europeos eso era imposible. Las autoridades (coloniales primero y luego las de las nacientes Provincias Unidas) estuvieron muy interesadas en estos objetos, a los que consideraban afloramientos de vetas minerales y potenciales fuentes de riqueza. Por eso se realizaron muchas expediciones en su búsqueda, en especial de un fragmento de unas 20 toneladas, bautizado el “Mesón de Fierro” que se convertiría en un hito icónico de la región, incluso después de que ya no pudieran volver a localizarlo tras la expedición de Rubín de Celis (1782).

La evidencia etnohistórica y etnográfica (Giménez Benítez et al., 2004; López, 2013) muestra que para los *moqoit* estos fragmentos metálicos han sido entendidos desde antiguo como objetos poderosos, ligados a entidades del cielo (de donde provienen) y conectados a la abundancia. Su presencia bajo tierra asegura la fecundidad del suelo, y algunos de estos fragmentos emergen lentamente buscando a ciertos humanos a los que eligen. Su manipulación es una cuestión delicada debido a su poder, que se manifiesta en la capacidad de generar lluvias. Diversos testimonios sugieren que la zona en la que se encuentran constituía un punto de reunión de distintos grupos, convocados justamente por la presencia de estos objetos en el subsuelo. Como hitos del territorio, los meteoritos están vinculados profundamente a la identidad *moqoit*, como lo atestigua el primer medio-metraje *moqoit*: “La nación oculta en el meteorito. Una historia del pueblo *Moqoit*” (https://www.youtube.com/watch?v=7iC7Glj_eJA) dirigido en 2010 por el maestro y dirigente *moqoit* Juan Carlos Martínez. Los meteoritos han sido epicentro de protestas *moqoit* por sus derechos territoriales y culturales, como la “Marcha al meteorito” en 2009 (González Zugasti, 2012).

El interés científico y comercial por estos fragmentos y sus cráteres fue creciendo durante el siglo XX, junto con el contrabando y los intentos de protegerlos legalmente. En este contexto, el intento de dos artistas de Buenos Aires de llevarse el meteorito “El Chaco” a Alemania para una exhibición artística fue muy resistido por los *moqoit* (así como por expertos

internacionales en astronomía y especialmente astronomía cultural) que finalmente lograron que no se concretara (López, 2017).

Desde 2021 está en marcha un proceso de patrimonialización de Campo del Cielo, impulsado en su momento por el Gobierno nacional y los de las provincias de Chaco y Santiago del Estero. Gracias al trabajo de investigación realizado durante más de veinticinco años, se ha podido contribuir desde la astronomía cultural a que se comenzara a tomar en cuenta el rol de los *moqoit* en la conformación de este “patrimonio” y a incorporar oficialmente a este grupo como uno de los actores necesarios en la gestión del mismo (López, 2022a). El programa de Jóvenes Guías *Moqoit* de Campo del Cielo, *Nauecqataxanaq* (https://www.instagram.com/guias_moqoit/), impulsado por la Provincia del Chaco y financiado por el Consejo Federal de Inversiones, y del que formamos parte, es un enorme paso en esa dirección.



Figura 6. Marcos Solís, uno de los jóvenes guías moqoit del programa *Nauecqataxanaq*, llevando adelante una visita guiada para jóvenes de nivel secundario, en el parque del Centro de Interpretación de Campo del Cielo, junto al meteorito El Chaco, en el marco de los eventos del Asteroid Day, 1° de julio de 2023 (El autor).

VII. Palabras finales

Este trabajo, tal como se lo indica en el resumen inicial, tiene dos propósitos. El primero de ellos es realizar una breve puesta al día de los resultados que los últimos 15 años de investigación sobre la astronomía de los *mo-*

goit del Chaco argentino han arrojada en referencia a los asterismos y sus dinámicas de construcción en este grupo. Más allá de aportar elementos novedosos sobre asterismos *moqoit*, hemos buscado poner los asterismos *moqoit* en el contexto más amplio de las lógicas profundas que articulan las ideas de este grupo sobre el cosmos y los modos en que estas se producen, transmiten y regulan. Sin el abordaje de las lógicas profundas se corre el riesgo que la presentación de las concepciones y prácticas sobre el cielo de una cultura se transformen en un simple anecdotario de elementos aislados y desconectados. Entendiéndolos en ese contexto más amplio hemos intentado delinear algunas de sus características generales.

En esta dirección hemos destacado que el cosmos *moquitoes* un socio-cosmos, habitado por una multiplicidad de agentes intencionales, organizados en diversas sociedades humanas y no humanas. Se trata de un mundo múltiple, dinámico, interconectado de diversas formas. Un mundo conformado por las relaciones de poder entre las entidades que lo habitan, un mundo en el que es crucial la interpretación de las señas o pistas de las intenciones de los demás. En este mundo dinámico toda unidad es provisional y su mantenimiento requiere un esfuerzo permanente. Esto se aplica no solo a la propia persona y a las comunidades humanas, sino al cielo y al cosmos como un todo. Este cosmos dinámico está articulado por movimientos, en especial los de la Vía Láctea, ya que la astronomía *moquitoes* una “astronomía de la Vía Láctea”, en la que esta juega un rol fundamental. Alrededor de este eje de comunicación se organizan los principales asterismos *moqoit*. El movimiento de la Vía Láctea se relaciona además con el del Sol y con el ciclo de invisibilidad y visibilidad de las estrellas de las zonas de las Pléyades y Escorpio.

En este contexto hemos planteado una aproximación a la forma en que se producen y deben ser entendidos los relatos míticos *moqoit*, incluyendo aquellos que hablan del cielo. Evidenciamos la importancia, etnográficamente corroborada para el caso *moqoit*, de tener en cuenta las dinámicas propias de la oralidad y la forma en que los narradores construyen los relatos combinando “bloques narrativos” (que deben ser identificados empíricamente y no postulados teóricamente) en función de las situaciones específicas en las que se da la narración. Incluyendo las intervenciones e intereses del auditorio. Ello hace que las “variantes” no deban ser pensadas como reinterpretaciones de algún corpus fijo, sino como parte del conjunto de puestas en acción concreta de un campo de recursos semánticos

compartido por narrador y auditorio, constitutivamente flexible y en continuo proceso de cambio. Es desde esa perspectiva que deben entenderse los testimonios que presentamos (y los recogidos en etnografías previas), que dan muestra de la relevancia contemporánea de estos bloques narrativos para la comprensión de las circunstancias presentes y la forma en que son usados por las personas para construir hipótesis sobre las intenciones de los seres que habitan el cosmos. Esto le da un nuevo sentido a testimonios etnográficos que suelen ser descartados a la hora de elaborar publicaciones debido a que no se ha podido establecer su carácter de conocimiento general del grupo en cuestión. Primero, porque la falta en este caso de mecanismos generales de homogenización del discurso cosmológico y los procedimientos flexibles de su construcción hacen esperable la existencia de relatos y asterismos con una difusión limitada. Pero, además, porque, independientemente de su generalidad, estos relatos pueden mostrarnos las lógicas profundas de la cosmovisión en acción, entendidas como un haz de *habitus* que permiten “improvisaciones regladas”. Aunque el presente trabajo aplica estas ideas a nuestra experiencia etnográfica concreta con los *moqoit*, creemos que el ejemplo de lo que han implicado para el análisis etnoastronómico en este caso podría servir de estímulo para el estudio de otros campos etnográficos en los que la oralidad tiene una importancia análoga, intentando aplicar un enfoque equivalente.

El segundo propósito de este trabajo es hacer una síntesis de la relación de los *moqoit* con los meteoritos de Campo del Cielo. Hemos discutido lo profundo de este vínculo, que se funda en la forma en que dichos meteoritos son vistos como presencia en la tierra de potentes seres del cielo, ligados a la abundancia y el poder. Esta relación no depende de haber sido o no testigos de la caída de los fragmentos metálicos, y se ha construido a lo largo de siglos por la interacción con estos fragmentos y los cráteres asociados, entendidos como parte de un territorio que reúne al cielo y la tierra. Ello pone de manifiesto la relevancia crucial de una participación activa de las comunidades *moqoit* en cualquier proceso de patrimonialización de estos meteoritos, con derecho a ser parte de la toma de decisiones mediante sus propios mecanismos de discusión y construcción de consensos, tal como lo exige nuestra Constitución y la legislación internacional.

Agradecimientos

Este texto no hubiera sido posible sin la colaboración de todos los interlocutores y amigos *moqoit* mencionados a lo largo del texto. En especial queremos destacar a Marcos Gómez, anciano y líder *moqoit* de Las Tolderías; maestro y amigo entrañable, fallecido en 2023, a quien dedicamos este artículo. También ha sido invaluable la colaboración del Grupo de Jóvenes Guías Moqoit de Campo del Cielo, *Nauecqataxanaq* (Marcos Solís, Néstor Díaz, Alejandro Salteño, Abel Salteño, Joel Fernández, Martín Lalecorí, Gabino Mocoví, Silvia Martínez, Mariano Mendoza y Liliana Lencinas), con quienes hemos discutido muchos de estos temas y problemas de traducción, en el mismo sentido nuestra inmensa gratitud para con Juan Carlos Martínez, Ricardo Mendoza y Pablo Cristian Santos.

Referencias

- Altman, A. (2017). *El camino del evangelio. Cristianismos y modernidades entre los mocoví del Chaco austral*. (doctorado Tesis doctoral). Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.
- Blaser, M. (2016). Is Another Cosmopolitics Possible? *Cultural Anthropology*, 31(4), pp. 545–570.
- Braunstein, J., Salceda, S. A., Calandra, H. A., Méndez, M. G., & Ferrarini, S. O. (2002). *Historia de los chaqueños-Buscando en la “papelera de reciclaje” de la antropología sudamericana*. *Acta Americana. Journal of the Swedish Americanist Society*, 10(1), pp. 63-93.
- Buckwalter, A. S. (1995). *Vocabulario Mocoví* (Edición provisoria ed.). Elkhart, Indiana: Mennonite Board of Missions.
- Buckwalter, A. S., & Litwiller de Buckwalter, L. (2001). *Vocabulario Toba* (1º revisada ed.). Elkhart, Indiana: Mennonite Board of Missions.
- Cordeu, E., & Siffredi, A. (1971). *De la algarroba al algodón. Movimientos milenaristas del Chaco argentino*. Buenos Aires: Juarez Editor.

- De la Cadena, M. (2010). Indigenous Cosmopolitics in the Andes: Conceptual Reflections beyond Politics. *Cultural Anthropology*, 25(2), pp. 334–370.
- Fu, R. R. (2016). Las estrellas a través de las araucarias: la etnoastronomía mapuche-pewenche. *Boletín del Museo Chileno de arte precolombino*, 21(2), pp. 81-100.
- Giménez Benítez, S., López, A. M., & Granada, A. (2002). Astronomía Aborígen del Chaco: Mocovíes I: La noción de nayic (camino) como eje estructurador. *Scripta Ethnologica*, XXIII, pp. 39-48.
- Giménez Benítez, S., López, A. M., & Granada, A. (2006). Sun and moon as marks of time-space among Mocovies from the Argentinian Chaco, Archaeoastronomy. *The Journal of Astronomy in culture*, XX, pp. 54-69.
- Giménez Benítez, S., López, A. M., & Granada, A. (2004). Suerte, riqueza y poder. Fragmentos meteóricos y la presencia de lo celeste entre los mocovíes del Chaco. In M. Boccas, J. Broda, & G. Pereira (Eds.), *Etno y Arqueo-Astronomía en las Américas*. Memorias del Simposio ARQ-13: Etno y Arqueoastronomía en las Américas, 51º Congreso Internacional de Americanistas (pp. 315-327). Santiago de Chile.
- Gómez, C., & Braunstein, J. (2020). Cielo y juegos de hilo. Representación de la temporalidad cíclica entre los pilagá del Pilcomayo. *Revista del Museo de La Plata*, 5 (2), pp. 602-617.
- González Zugasti, E. (2012). *‘Todavía estamos vivos’: procesos identitarios y de resistencia étnica entre los mocovíes del suroeste chaqueño en los últimos cuarenta años*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Misiones, Misiones.
- Goody, J. (Ed.) (1996). *Cultura escrita en sociedades tradicionales* (1º cast ed.). Barcelona: Editorial Gedisa S.A.

Guevara, J. (1969[1764]). *Historia del Paraguay, Río de la Plata y Tucumán*. In P. De Angelis (Ed.),

Colección de obras y documentos relativos a la historia antigua y moderna de la Provincias del Río de La Plata. Ilustrados con Notas y Disertaciones por Pedro De Angelis [1836]. Con prólogo y notas de Andrés M. Carretero (2º ed., Vol. Tomo I, pp. 499-830). Buenos Aires: Editorial Plus Ultra.

Hill, J. D. (1988). *Introduction: Myth and History*. In J. D. Hill (Ed.), *Rethinking History and Myth. Indigenous South American Perspectives on the Past* (pp. 1-18). Illinois: University of Illinois Press.

INDEC (2024). *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2022*. Resultados definitivos. Población indígena o descendiente de pueblos indígenas u originarios. Buenos Aires: Instituto Nacional de Estadística y Censos.

Lehmann-Nitsche, R. (1923). La Astronomía de los tobas. *Revista del Museo de La Plata*, 27, Tercera serie, (Tomo III, Mitología sudamericana VI,), pp. 267-285.

Lehmann-Nitsche, R. (1924-25). La Astronomía de los Mocoví. *Revista del Museo de La Plata*, 28, Tercera serie (Tomo IV, Mitología sudamericana VII), pp. 66-79.

Lehmann-Nitsche, R. (1924-25b). La Astronomía de los tobas (segunda parte). *Revista del Museo de La Plata*, 28, Tercera serie, (Tomo IV, Mitología sudamericana X), pp. 181-209.

Lehmann-Nitsche, R. (1927). La Astronomía de los Mocoví (segunda parte). *Revista del Museo de La Plata*, 30, Tercera serie (Tomo VI, Mitología sudamericana XII), pp. 145-159.

Lévi-Strauss, C. (1987). *Antropología Estructural* (E. Verón & G. r. t. Sanz, Trans.). Barcelona: Paidós.

- López, A. M. (2009a). *La Virgen, el Árbol y la Serpiente. Cielos e Identidades en comunidades mocovíes del Chaco*. (Tesis de Doctorado Tesis de doctorado). Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.
- López, A. M. (2009b). *Las Pléyades, el sol y el ciclo anual entre los mocovíes*. In E. Cordeu (Ed.), VI Congreso Argentino de Americanistas, 2008 (pp. 257-277). Buenos Aires, Argentina: Sociedad Argentina de Americanistas. Dunken.
- López, A. M. (2011). New words for old skies: recent forms of cosmological discourse among aboriginal people of the Argentinean Chaco. In C. L. N. Ruggles (Ed.), *Archaeoastronomy and Ethnoastronomy: Building Bridges between Cultures, proceedings of the International Astronomical Union Symposium N° 278*, Oxford IX International Symposium on Archaeoastronomy (pp. 74-83). Cambridge: Cambridge University Press
- López, A. M. (2013). *Las texturas del cielo. Una aproximación a las topologías moqoit del poder*. In F. Tola, C. Medrano, & L. Cardín (Eds.), *Gran Chaco. Ontologías, poder, afectividad* (pp. 103-131). Buenos Aires: Asociación Civil Rumbo Sur.
- López, A. M. (2016). *Los cielos del Chaco*. In S. Giménez Benítez & C. Gómez (Eds.), *Primera Escuela Interamericana de Astronomía Cultural* (pp. 145-201). La Plata: Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Observatorio Astronómico de La Plata.
- López, A. M. (2017). Las Señas: una aproximación a las cosmo-políticas de los moqoit del Chaco. *Etnografías Contemporáneas*, Año 3(4), pp. 92-127.
- López, A. M. (2020). *Problematizando el concepto de 'observación astronómica'. Reflexiones metodológicas a partir de la experiencia etnográfica entre los moqoit del Chaco*. *Cosmovisiones/ Cosmovisões*, 1(1), pp. 17-51.
- López, A. M. (2022a). *El cielo entre nosotros: Patrimonio y dinámicas socioculturales en el Chaco Argentino*. In L. Ferrero & E. Restrepo (Eds.),

- Memorias del VI Congreso de la Asociación Latinoamericana de Antropología: “Desafíos Emergentes. Antropologías desde América y El Caribe”, Vol. 6 (pp. 443-452). Montevideo: Asociación Latinoamericana de Antropología.
- López, A. M. (2022b). ‘Milky Way Astronomies’: Proposing a Framework for Cultural Comparison. *Journal of Skyscape Archaeology*, 8(1), pp. 131-134. Doi: <https://doi.org/10.1558/jsa.23699>
- López, A. M., & Altman, A. (2022). Cosmo-Logics in Contemporary Lowland South America. *Journal of Skyscape Archaeology*, 7(2), pp. 269–297.
- López, A. M., & Giménez Benítez, S. (2008). The Milky Way and its structuring functions in the worldview of the Mocoví of Gran Chaco. *Archaeologia Baltica* (10), pp. 21-24.
- Martínez, A. T. (2007). *Pierre Bourdieu. Razones y lecciones de una práctica sociológica. Del estructuralismo genético a la sociología reflexiva*. Buenos Aires: Ediciones Manantial.
- Nesis, F. S. (2005). *Los grupos Mocoví en el siglo XVIII*. Argentina: Sociedad Argentina de Antropología.
- Ong, W. J. (1996). *Oralidad y escritura. Tecnologías de la palabra* (1º ed in caste (1987) ed.). Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.
- Paucke, F. (2010[1749-1767]). *Hacia allá y para acá (memorias)* (E. Wernicke, Trans. 1º ed.). Santa Fe: Ministerio de Innovación y Cultura de la Provincia de Santa Fe.
- Pozo Menares, G., & Canio Llanquinao, M. (2014). *Wenumapu: Astronomía y Cosmología Mapuche*. Santiago de Chile: Ocho Libros Editores.
- Reboledo Ruiz Díaz, N. (2021). La llegada de Ñaxáinañdi. Apuntes sobre algunas representaciones celestes de los Pilagás. *Revista de Antropología del Museo de Entre Ríos*, 6(2), pp. 70-78.

- Salamanca, C. (2010). Revisitando Napalpí: por una antropología dialógica de la acción social y la violencia. RUNA, archivo para las ciencias del hombre, 31(1), pp. 67-87.
- Sarra, S., Robledo, E., & Tola, F. (2024). Ipaye y pi'oxonaq. Chamanes entre el cielo y la tierra. Ayacucho : La Flor Azul.
- Stengers, I. (1997). Pour en finir avec la tolérance. Cosmopolitiques, 7. Paris: La Découverte.
- Thompson, S. (1955-58). *Motif-Index of Folk-Literature: A Classification of Narrative Elements in Folk-Tales, Ballads, Myths, Fables, Mediaeval Romances, Exempla, Fabliaux, Jest-Books, and Local Legends* (rev. and enl. Edn ed.). Copenhagen: Rosenkilde and Bagger.
- Viveiros de Castro, E. (1996). Os pronomes cosmológicos e o perspectivismo ameríndio. Mana, 2 (2), pp. 115-144.
- Viveiros de Castro, E. (2002). *A inconstância da alma selvagem e outros ensaios de antropologia*. São Paulo, Brasil: COSAC & NAIFY.
- Viveiros de Castro, E. (2010). *Metafísicas Caníbales. Líneas de Antropología Postestructural*. Buenos Aires, Madrid: Katz editores.



Atmósferas estelares Wolf-Rayet y la dinámica de las clasificaciones

Hernán Miguel*

Resumen

Las estrellas Wolf-Rayet (WR), desde su descubrimiento en 1867, han presentado características atípicas a los criterios de clasificación propuestos. Presentan líneas de emisión muy anchas en términos de velocidad, mostrando atmósferas con intensos vientos, indicando una tasa muy alta de pérdida de masa. Sus líneas de emisión muestran un alto grado de ionización correspondiente a una temperatura de emisión que no coincide con la temperatura de color del continuo. En este trabajo abordamos un caso de investigación histórico de la década de 1980 y analizamos en qué medida este caso es un ejemplo paradigmático de la tarea que se enfrenta en términos de objetos que presentan características atípicas y que llevan a la revisión de la propia colección de categorías que constituyen esa clasificación.

Palabras clave: estrellas Wolf-Rayet, envolturas estelares, clasificación, taxonomía, espectroscopía.

Abstract

Wolf-Rayet (WR) stars, since their discovery in 1867, have been a class resistant to classification. They exhibit very broad emission lines in terms of velocity, showing atmospheres with strong winds, indicating a very high rate of mass loss. Their emission lines show a high degree of ionization corresponding to an emission temperature that does not coincide with the color temperature of the continuum. In this paper we address a research case from the 1980s and analyze to what extent this case is a paradigmatic example of the task faced in terms of objects presenting

* UBA – CONICET

atypical characteristics that give rise to the revision of the very collection of categories that constitute that classification.

Keywords: Wolf-Rayet stars, stellar envelopes, classification, taxonomy, spectroscopy.

I. Introducción¹

Las estrellas Wolf-Rayet (WR), desde su descubrimiento en 1867, han constituido un tipo de estrellas cuyas características atípicas dieron lugar a un interesante proceso iterativo hasta alcanzar un sistema estable de clasificación.

En este trabajo presentamos una reseña de ese proceso, sobre la base del estado del arte para la década de 1980.

Estas estrellas presentan líneas de emisión muy anchas en términos de velocidad del orden de cientos o miles de km/s, mostrando atmósferas de actividad violenta con perfiles de emisión de tipo P-Cygni² lo que permite estimar la relación atmósfera-núcleo y estimar una tasa muy alta de pérdida de masas solares. A pesar de ello, el espectro de estas estrellas permanece estable a lo largo de varias décadas. Sus líneas de emisión muestran un grado de ionización correspondiente a una alta temperatura que no coincide con la temperatura electrónica capaz de explicar su estructura de ionización, y tampoco coincide con su temperatura de color.³Y así otras características⁴ que plantean un abanico de dificultades para establecer

1 Expreso mi agradecimiento por los excelentes comentarios y agudas sugerencias expresadas por quien ha realizado de manera anónima la evaluación de este trabajo en su versión inicial.

2 Absorción ubicada hacia menores longitudes de onda que el máximo de la emisión.

3 Véase Rublev (1975). La temperatura esperada para las líneas de radiación de He I y de He II es mayor que la temperatura electrónica de la envoltura (p. 267) y, por otra parte, ésta es inferior a la temperatura del núcleo, en un factor 0,4 en promedio (p. 266). Para otros detalles sobre la estructura de temperaturas véase también Hillier (1989).

4 Crowther (2007: 179) señala que, aunque la clasificación por líneas espectrales hace posible la distinción de subtipos, aparecen complicaciones para clasificar las estrellas WR de la secuencia del nitrógeno al comparar la intensidad de algunas de

una clasificación adecuada y abarcativa para la diversidad de estrellas que muestran este fenómeno, incluidas estrellas centrales de nebulosas planetarias. Tal diversidad ha llevado a la comunidad de astrónomos a pensar que quizás no se trate de un tipo de estrellas WR sino de un fenómeno que puede encontrarse en una gran diversidad de estrellas, con diferentes características físicas y estados evolutivos.⁵

En este trabajo tomaré como un caso de investigación histórico en el que se presenta una descripción del estado de arte para la década de 1980 respecto a este fenómeno, cuyos resultados se encuentran en Miguel (1984) y Méndez et al. (1985). La clasificación de la época tomaba como punto de partida la distinción entre estrellas de tipo WN con fuertes emisiones de nitrógeno ionizado por un lado, y de tipo WC a las que presentaban un espectro dominado por emisiones de carbono y oxígeno. Al interior de cada grupo se establecían subcategorías, en términos de las intensidades relativas de las emisiones correspondientes a las distintas líneas (He II, N III, N IV, N V para las WN y C III, C IV, O V para las WC). Toda esta clasificación no presentaba una consistencia aceptable para su utilización extendida.

A partir del estudio de este caso histórico en el que fue necesario revisar las categorías de la clasificación, analizamos en qué medida puede tomarse como ejemplo paradigmático de la tarea que se enfrenta en astronomía, y más en general en las ciencias experimentales, al tratarse de clasificaciones que parecen hacer proliferar casos anómalos en virtud de

sus líneas con las de estrellas de tipo Of. Adicionalmente, algunas de las estrellas de esta secuencia presentan ciertas líneas “inusualmente fuertes” mientras que por las demás características, se parecen al resto (p. 180). Ya Smith (1968: 137) se refería a las diferencias en la intensidad en las líneas de He I entre diferentes estrellas de este tipo, que por lo demás, son similares. Para los temas todavía pendientes de una acabada comprensión para esa década, consultar también Abbott y Conti (1987: 144), sección 7.3 Major Unsolved Issues.

5 Abbott y Conti (1987: 143) señalan que las estrellas WR parecen descender de estrellas de tipo OB masivas, que muestran intensos vientos y pérdida de masa, lo cual debe ser tenido en cuenta en la evolución estelar. “Otros procesos combinados, que no están todavía completamente comprendidos [para esa década], también juegan un papel en la evolución de estrellas masivas.” Describen lo que “identificamos con una fase WR”. “Posiblemente otros estados intermedios, representados por tipos S Doradus, o estrellas P Cygni, Hubble-Sandage variables, o Eta Car, o similares, [...] pueden jugar un papel en la separación que va de la fase OB a la fase WR.”

sus características atípicas, y de ese modo llevan a la comunidad científica pertinente a una revisión tanto en lo que respecta a entidades individuales que deben ser cambiadas de una categoría a otra, como de la revisión de la propia colección de categorías que constituye esa clasificación.

II. Las estrellas Wolf-Rayet en su primer siglo de estudio⁶

Desde su descubrimiento en 1867 y hasta casi finales del siglo XX, las estrellas Wolf-Rayet (WR) han constituido un enigma astrofísico. Más de un siglo después, habiéndose registrado un enorme progreso tanto en las técnicas observacionales como en la teoría sobre atmósferas e interiores estelares, todavía no se disponía de modelos satisfactorios que reprodujeran las propiedades y estados evolutivos de estas estrellas. Una de las pistas importantes que se habían podido establecer para la década de 1980, es que resulta más adecuado hablar de un “fenómeno WR” que de “estrellas WR”, porque este fenómeno puede encontrarse en estrellas con características físicas y estados evolutivos muy diferentes.⁷ Es decir, el trabajo infructuoso de identificar el tipo de estrellas al que pertenecían estas estrellas, dio paso a desacoplar un fenómeno bastante bien caracterizado, de un tipo de estrellas también suficientemente caracterizado, pero cuyas clases no se había logrado correlacionar.

Para esa década, se caracterizaba al espectro de una WR, típicamente por las siguientes propiedades:⁸

⁶ Véase Miguel (1984).

⁷ Rublev (1975: 259) señala: “A este tipo [WR] pertenecen estrellas con líneas (‘bandas’) brillantes y muy anchas de He I, He II, también nitrógeno, carbono y oxígeno en diferentes estados de ionización. Un número de núcleos de nebulosas planetarias muestran espectros similares, sin embargo, estos objetos difieren de las estrellas WR ‘clásicas’ por su baja luminosidad y masas pequeñas.” Por otra parte, Abbott y Conti (1987: 128) señalan que “La masa [de las estrellas WR] cubren un rango entre 6,4 a 50 masas solares.”

⁸ Véanse Miguel (1984: 96); Abbott y Conti (1987: 132) en la sección Model Atmosphere; Smith (1968: 138) en su sección The spectra and the classification system.

- Presentan un espectro de líneas de emisión superpuesto a un continuo de alta temperatura (típicamente mayor que 15.000 K)
- Las líneas de emisión tienen un ancho considerable expresado en unidades de velocidad, es decir que sus atmósferas tienen una actividad muy intensa en términos de viento estelar, del orden de cientos a miles de km/s. Esta característica muestra que, al ser las velocidades de expansión mucho mayores a la velocidad de escape, estas estrellas están perdiendo inmensas cantidades de masa.
- Algunas de sus líneas de emisión presentan perfiles P-Cygni, consistente en una absorción ubicada hacia menores longitudes de onda que el máximo de la emisión, dando cuenta de las velocidades del viento estelar [fig. 1].
- Las líneas de emisión presentan un amplio rango de ionización (llegando a nitrógeno y oxígeno cinco veces ionizados).
- Para tales niveles de ionización corresponde asignarles una temperatura muy alta que, sin embargo, supera a la que le corresponde como temperatura de color de acuerdo a su espectro continuo de radiación de cuerpo negro.⁹
- Estas características del espectro, a pesar de mostrar la presencia de una envoltura estelar de condiciones dinámicas extremas y alejadas del equilibrio termodinámico, permanecen estacionarias a lo largo de décadas.

Con respecto a los perfiles P-Cygni representados en la figura 1, el núcleo de la estrella provee la emisión que habrá de ser absorbida en el sector I, en dirección al observador. Los demás sectores proveen radiación corrida al rojo o al azul según sus velocidades radiales vistas por el observador, lo cual produce el ancho de las emisiones en virtud del efecto Doppler. La proporción de una envoltura con altas velocidades de material que está

⁹ Véase como ejemplo la relación entre la intensidad media de la radiación en el espectro y su correspondencia con la temperatura de cuerpo negro en el caso del sol (Stix, 2004, p. 10).

siendo soplado hacia el espacio (según los intensos vientos de acuerdo con el ancho de las emisiones producto del efecto Doppler) con una extensión muy grande respecto a un núcleo menor, como se muestra en el esquema de la figura 1, brinda la explicación del ancho de las emisiones y también de la zona de absorción en la región de longitudes corridas hacia el azul, es decir, una absorción corrida al violeta.¹⁰

Para la década de 1980 se conocían alrededor de 200 estrellas WR en nuestra galaxia y algunas en las Nubes de Magallanes y otras galaxias cercanas. El catálogo de Van Der Hucht et al. (1981: 229 y ss), a través de su reseña de catálogos anteriores, nos permite apreciar no solo el sucesivo relevamiento de estas estrellas, sino también la evolución en la caracterización de sus propiedades espectrales.

Los autores señalan que el primer catálogo es el de Campbell (1884) que identifica 55 estrellas WR, poniendo de relieve como características más salientes, la presencia de líneas muy anchas de emisión y fuertes líneas brillantes de emisión superpuestas a un fuerte espectro continuo. Menciona también la presencia de bandas de absorción de diferentes intensidades y anchura.

¹⁰ La aparición de estos perfiles en el visible está asociada a la densidad de la envoltura de la estrella. Un análisis detallado de este aspecto excede el alcance de este trabajo, pero baste decir que la sola existencia de esta característica en la zona visible, es una evidencia más de la masa que está en juego en esas envolturas en expansión.

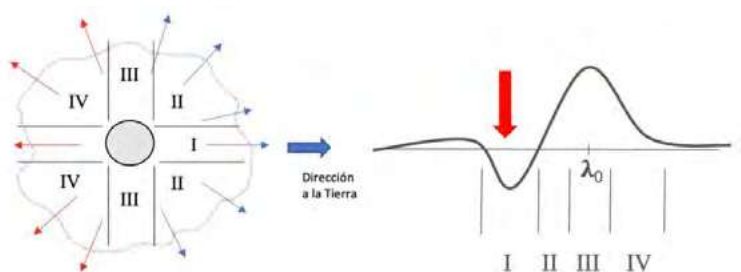


Figura 1. A la izquierda se representa la envoltura estelar con una atmósfera que está siendo soplada al espacio a grandes velocidades y con un núcleo relativamente pequeño respecto a esa envoltura. A derecha se muestra la distribución de la intensidad respecto a la longitud esperada para ese ión en particular. La absorción que se produce corresponde al sector I, en el que la atmósfera que se mueve en dirección al observador se interpone con la radiación que proviene del continuo y de emisiones que pudieron escapar de la atmósfera produciendo este perfil particular que llamamos “P-Cygni” (El Autor).

Le sigue el catálogo de Fleming (1912) abarcando 108 estrellas: 86 en la Vía Láctea, 21 en la Nube Grande de Magallanes (LMC) y solo una en la Pequeña Nube de Magallanes (SMC). Fleming destaca que la mayor luminosidad se concentra en dos brillantes líneas, una en la zona azul y la otra en la zona amarilla del espectro, cuyos centros se ubican en 4688 y 5813 Å, respectivamente.

El tercero lo debemos al trabajo de Cecilia Helena Payne-Gaposchkin, quien en 1925 había sugerido que las estrellas están principalmente compuestas de hidrógeno y logró en su tesis doctoral establecer que la clasificación de estrellas en tipos (actualmente O, B, A, F, G, K, M, L y T), indican principalmente una clasificación de temperaturas decrecientes. Su trabajo implicó poder correlacionar la intensidad de las líneas de emisión de las distintas clases espectrales de los diferentes tipos de estrellas y poder inferir de ello una escala para sus temperaturas.¹¹

Este tercer catálogo (Payne, 1930) incluye 92 estrellas, una de ellas en la SMC. Aparece en su trabajo la novedad de comparar la línea 4686 con

¹¹ Véase la reseña en *Nature*, October 10, 1925 y otra de P. W. Merrill (1926) para apreciar el impacto de la obra de Payne.

las líneas combinadas que aparecen cerca de $4340\text{\AA}$, de modo que describe el subtipo Wlen el que la primera es más fuerte que la combinación, y el subtipo WIII en el que la línea es más débil que esa combinación. Adicionalmente encuentra que, clasificándolas de este modo, las WIII se correlacionan con las estrellas de tipo Oa, mientras que las WI quedan relacionadas más cercanamente con las de tipo Ob, Oc y Od, sugiriendo que las WR más activas son aquellas con la emisión en 4686 más fuerte que la de $4633\text{\AA}$.¹²

De este modo da comienzo a una clasificación en términos de subtipos de estrellas WR en función de las intensidades relativas entre sus propias emisiones y no solamente por la presencia y magnitud de tales emisiones.

El cuarto catálogo (Roberts, 1962) y el quinto (Smith, 1968), abarcan alrededor de 120 estrellas WR. Cabe mencionar que, en cada catálogo, debido a la discusión sobre los criterios clasificatorios, a la vez que se iban sumando algunas estrellas WR recientemente descubiertas, se iban eliminando de los nuevos catálogos otras anteriormente clasificadas bajo ese rótulo.

En los años siguientes se fueron sumando unas 57 WR descubiertas principalmente en relevamientos del hemisferio Sur y en el brazo de Carina, aunque de ellas terminaron siendo descartadas 17, quedando identificadas en el sexto catálogo, el de Van Der Hucht et al. (1981) un total de 159 (p. 307) estrellas WR detectadas en nuestra galaxia.

Este pequeño recorrido entre 1867 en que se detectaron por primera vez, hasta que, a finales de la década de 1980, de acuerdo a Abbott y Conti (1987: 124) se agregan 101 estrellas WR en la Gran Nube de Magallanes, unas 5 en la Pequeña Nube de Magallanes.¹³

Tomando el catálogo de 1981 como marco a la investigación que estamos analizando, nos permite apreciar algo que, aunque es muy elemental, no suele ser puesto en primer plano en las descripciones de la tarea científica: no hay manera de detectar nuevos individuos que pertenezcan a una nueva clase sin poner en cuestión los criterios que definen esa nueva clase.

12 van der Hucht et al. (1981: 233).

13 Véase Abbott y Conti (1987: 125) para el estado más detallado del relevamiento de estrellas WR en diferentes galaxias para ese momento. Ver el estado actual del relevamiento en Galactic Wolf-Rayet Catalogue: <http://pacrowther.staff.shef.ac.uk/WRcat/history.php>

Por este motivo, proponerse salir al descubrimiento de nuevas estrellas WR una vez detectada las primeras, no pudo ser una tarea puramente observacional, sino que involucró una labor sistemática de intercambio de observaciones y consideraciones acerca de los procesos, características y dinámicas propias que se elegirían como sustantivas para considerar una estrella como perteneciente al tipo WR. Observar nunca ha sido una tarea sencilla.

Mientras que las primeras notas distintivas podían sugerir la existencia de un tipo particular de estrellas, las sucesivas observaciones ponían en cuestión que se tratara de un único tipo. A medida que se abordaba este panorama anómalo por las diferentes contradicciones en utilizar uno u otro criterio, se iban ingresando y eliminando estrellas de los sucesivos catálogos.

Este caso muestra la compleja tarea de clasificar el mundo. Mientras que ciertas características hacen que dos casos caigan dentro de un mismo casillero, otras características hacen que pertenezcan a casilleros distintos. El desafío es poder obtener una taxonomía útil para comprender, explicar y predecir, y esa taxonomía es obviamente intermedia entre los extremos más triviales: todas son estrellas y cada estrella es un mundo.

III. Nacimiento y muerte de los taxones

Un sistema de clasificación espectral tiene que permitir separar estrellas fácilmente en grupos bien definidos. En el caso de las estrellas “normales” (para distinguirlas de las WR) esa clasificación ya existía para la década de los 80. Su interpretación física es relativamente sencilla: el espectro visible depende fundamentalmente de tres parámetros, la temperatura efectiva, la composición química en la superficie y la aceleración de la gravedad en la superficie. A partir de ajustar estos tres parámetros es posible, ya para esa década, obtener modelos numéricos que reproducen bastante bien los espectros estelares. Estos modelos constituyen así una herramienta que nos permite algún grado de avance en una o más de las tres dimensiones señaladas anteriormente: comprender, explicar y predecir.

Para las estrellas WR también existe una clasificación, cuyos primeros pasos ya hemos señalado al reseñar los primeros catálogos. Pero en contraposición con el resto de las estrellas, esta clasificación no había

permitido generar modelos exitosos en reproducir las características que observamos en sus espectros para ese entonces.

Se distinguieron desde un principio dos tipos principales de estrellas WR, unas asociadas a una secuencia de nitrógeno y otras a una secuencia de carbono, en función de las emisiones de los iones de estos elementos. En 1935 C. S. Beals hizo esta sugerencia fundamentada en las observaciones y señalando que la discusión sobre la clasificación de las estrellas WR sería probablemente mucho más inteligible si estas dos secuencias fueran primero descritas separadamente.

En la comunicación de la IAU de 1939, se señala que Mrs. Gaposchkin (Cecilia Helena Payne-Gaposchkin citada anteriormente) en aquel momento (1935) había entregado un dictamen en minoría, ahora expresaba la opinión de que “Estaría bien adoptar la clasificación que él [Dr. Beals] había propuesto [el año anterior]”. Por tal motivo, sigue la comunicación, “esta recomendación parece ahora ser unánime.”¹⁴

La propuesta de Beals consistía en distinguir las WR en dos secuencias: WN y WC, como ya habíamos anticipado en la introducción. Los primeros subtipos propuestos por Beals consistieron en WN8, WN7, WN6, WN5 para la secuencia de nitrógeno y WC8, WC7, WC6 para la secuencia de carbono. Más tarde fueron extendidos por Smith (1968).

Las estrellas WR han sido consideradas peculiares por mostrar emisiones muy intensas de O VI. Sin embargo, como había ocurrido cuatro décadas atrás con la propuesta de Beals, Barlow y Hummer (1982) sugieren que estas estrellas tan peculiares podrían ser mejor comprendidas si agregamos otra secuencia, esta vez referida al oxígeno, dando lugar a las estrellas WO con sus subtipos WO1, WO2, WO3 y WO4. Esta secuencia se reserva para espectros que muestran simultáneamente un rango muy amplio de iones de oxígeno (O IV, O V, O VII y O VIII). Paralelamente Méndez y Niemela (1982) introdujeron los subtipos WC3 y WC2 para dar cuenta de espectros dominados por emisiones de C V, O VI y O VII.

El derrotero de la clasificación entonces, a lo largo de este período de poco más que un siglo, muestra el nacimiento y proliferación de taxones,

14 Beals and Russell (1939: 248): “The Sub-Committee repeats its recommendations of 1935 (see pp. 184-87 of Transactions of the International Astronomical Union, 5, 1935). Mrs. Gaposchkin, who at that time submitted a minority report, now expresses the opinion that: “It will be well to adopt the classification that he [DrBeals] has proposed”; so that this recommendation may now be regarded as unanimous.”

comenzando por el primer rótulo “WR” acuñado a partir de 1867. Más tarde, este rótulo parece no representar la diversidad de estrellas que deseamos estudiar bajo esa caracterización. Para subsanar esta situación y proveer una plataforma más adecuada para la comprensión, Beals (1939) sugiere que se distinga en primer lugar las estrellas de una secuencia asociada al nitrógeno “WN” y otra asociada al carbono “WC”. Cada uno de estos dos tipos de WR, a su vez, se desdobra en diferentes subtipos (Tabla I y Tabla II). Más de cuatro décadas después, en 1981, aparecen subtipos intermedios y otros subtipos que se extienden respecto de los iniciales, abarcando desde WN2 a WN8 y desde WC3 a WC9. Para esa misma época, se reconoce la ventaja de distinguir una tercera secuencia, asociada al oxígeno (Tabla III), abarcando desde WO1 a WO4. Más adelante se pondrán en duda la utilidad o adecuación de algunos de los subtipos propuestos.

En resumidas cuentas, para 1984 se contaba con la clasificación de espectros WR que figura en las tablas I, II y III.¹⁵

Tabla I. Subtipos de la secuencia WN

Clase	Intensidad de la emission	Otros criterios
WN8	N III >> N IV	He I fuerte, P-Cygni, N III I 4640 » He II I 4686
WN7	N III > N IV	He I débil, P-Cygni, N III I 4640 < He II I 4686
WN6	N III ≈ N IV	N V presente pero débil
WN5	N III ≈ N IV > N V	
WN4.5	N IV > N V	N III débil o ausente
WN4	N IV ≈ N V	N III débil o ausente
WN3	N IV << N V	N III débil o ausente
WN2	N V débil o ausente	He II fuerte

¹⁵ Miguel (1984:96).

Tabla II. Subtipos de la secuencia WC

Clase	Criterio carbono	Criterio oxígeno	Otros criterios	Carbono II
WC9	$C III > C IV$	O V débil o ausente	$He II < He I$	C II presente
WC8.5	$C III > C IV$	O V débil o ausente		C II ausente
WC8	$C III \approx C IV$	O V débil o ausente	$He II \gg He I$	C II presente *ver texto
WC7	$C III < C IV$	$C III \gg O V$		
WC6	$C III \ll C IV$	$C III > O V$		
WC5	$C III \ll C IV$	$O V > C III > O VI$		
WC4	C IV fuerte, C III débil o ausente	$O V > O VI > C III$		
WC3	C IV fuerte, C III ausente	$O VI > O V > O VII$		
WC2	C IV fuerte, C III ausente	$O VI > O VII > O V$		

Tabla III. Subtipos de la secuencia WO

Clase	Criterio oxígeno	Otros criterios
WO4	$O VI \approx O IV$ muy fuertes	C IV fuerte y C III ausente
WO3	$O VI > O IV$	
WO2	O IV ausente, $O V < C IV$	
WO1	$O V > C IV$	

El subtipo WC8.5 había sido introducido en el catálogo de Van Der Hucht et al. (1981), diferenciando este subtipo del WC9 por la ausencia de C II, como figura en la Tabla II. Sin embargo, Lundstrom y Stenholm (1983) sugieren eliminar este subtipo del catálogo debido a que encuentran espectros de líneas de C II en espectros WC8, y distinguen WC8 de WC9 en los casos dudosos utilizando la relación entre He II λ 5411 y He I λ 5876.

En el estudio realizado (Miguel, 1984), se confirma la existencia de emisiones de C II en estrellas que corresponden al criterio principal del subtipo WC8, según el cual la presencia de C III es del mismo orden que la de C IV, mostrando que el subtipo WC8.5 no es consistente con la persistencia de C II en tipos de mayor temperatura, como se muestra en la figura 2 para el espectro de la estrella HD 117297 del tipo WC8.¹⁶

16 Se trata de la estrella HD 117297, o bien WR53, de tipo WC8, que muestra emisiones C II λ 4258 con un ancho equivalente de 22 Å, ausente en estrellas WC7, tal como se espera en la sucesión de subtipos para la temperatura de excitación. Miguel 1984, pp. 61 y 101. Actualmente categorizada como tipo WC8; WC9; WC8d en Galactic Wolf Rayet Catalogue.

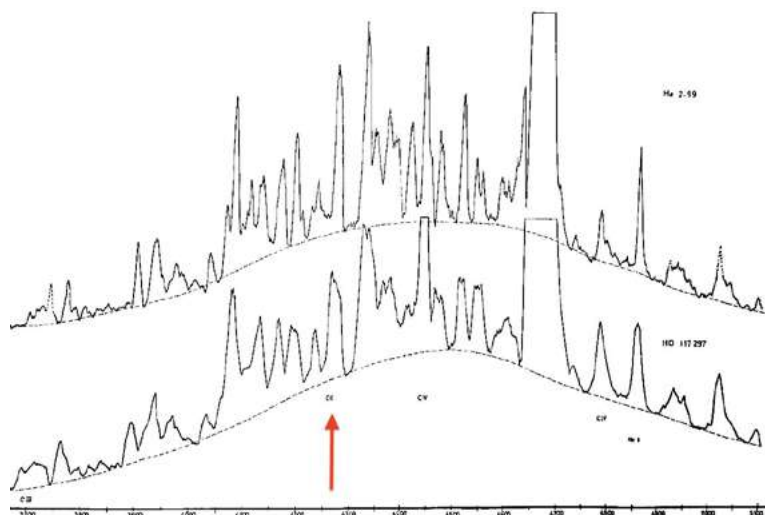


Figura 2. Espectro de dos estrellas WR. Superior: He 2-99 del subtipo WC9. Inferior: HD 117297 del subtipo WC8. Ambas muestran emisiones correspondientes a C II 14258 indicada por la flecha.

Como se puede apreciar por la caracterización de cada subtipo, un subtipo cuyo número es mayor, corresponde a una estrella de menor temperatura de excitación, es decir, indica una menor temperatura según la proporción de iones que parecen estar presentes en su atmósfera.

El subtipo WC9 presenta emisiones de C II, por ser un subtipo de menor temperatura. En cambio, ya en el subtipo WC8.5 de mayor temperatura, no hay emisiones de C II. En cambio las emisiones de C III son dominantes. Por un lado C III está presente mientras que C II, no. Por otra parte, C III está presente en mayor grado que C IV, lo cual muestra que su temperatura todavía no es tan alta como para que C IV sea dominante y comience a disminuir C III, como ocurrirá para los subtipos WC5 y WC4. Consistentemente, identificamos los subtipos WC3 y WC2 con la ausencia de emisiones de C III.

Notemos entonces que la reaparición de C II para el subtipo WC8, luego de haber desaparecido en WC8.5, y haber estado presente en WC9, funciona como una anomalía recalcitrante. Tengamos en cuenta que toda

clasificación es fruto de una combinación de criterios sugeridos por quien realiza la investigación, que los propone como útiles o promisorios y, en ese sentido, surgen de la subjetividad del observador. Posteriormente a ser sugeridos, el proceso habitual es que sean analizados y finalmente consensuados por la comunidad científica dedicada a esa parcela del mundo fenoménico. Aquí los criterios pasan a ser intersubjetivos. Hasta aquí, nos estamos refiriendo a la contribución del sujeto que investiga. Sin embargo, estos criterios se enuncian en términos de propiedades que las investigaciones previas de estos objetos y fenómenos han mostrado. Es decir, los criterios elegidos están apoyados en propiedades y relaciones que la investigación ha constado anteriormente, en términos de teorías y conocimientos previos que no están en duda, o al menos no totalmente, al momento de proponer tales criterios. Por ejemplo, se presupone que el ancho de las emisiones está asociado a las velocidades de las capas de la envoltura por medio del efecto Doppler, sin poner en duda que el corrimiento al rojo indica alejamiento y el corrimiento al azul, indica acercamiento al observador. De este modo, los criterios propuestos tienen dos componentes, por un lado la contribución subjetiva de su proponente y la aceptación intersubjetiva de la comunidad científica, y por otro lado las propiedades que muestra el objeto de estudio y las relaciones entre sus partes, lo cual constituye la contribución del objeto.¹⁷ Esta contribución del objeto, proveniente del conocimiento previo que tenemos sobre él, debe ser consistente. Por este motivo, dado que la clasificación está intentando representar estrellas de mayor temperatura acorde con la aparición de iones superiores, lo cual hace menos viable la estabilidad de emisiones de iones inferiores. Por ello se espera que la presencia de iones inferiores vaya disminuyendo a medida que analicemos estrellas de mayor temperatura. Una vez desaparecidas las líneas de cierto ion, no se espera que vuelvan a aparecer en estrellas de mayor temperatura que aquellas en las que ya no aparecía. En otras palabras, si la estrella tiene mayor temperatura de manera que los átomos de carbono sufren una ionización más profunda (C III, C IV) es dudoso que luego de un subtipo en el que han desaparecido las emisiones de C II, vuelvan a aparecer en un subtipo más caliente. Por este motivo la sugerencia de Lundstrom y Stenholm no es un detalle a ser desestimado.

17 Para más detalles sobre la distinción entre las contribuciones del sujeto que investiga y el objeto investigado, véase Hoyninguen-Huene (2023: 147).

Por otra parte, aún cuando esta sugerencia evita que la clasificación sobrelleve una inconsistencia importante, queda pendiente el problema de sostener el paso de WC9 a WC8, sin un paso intermedio.

Notemos que para WC9 la nota distintiva es la dominancia de C III por sobre C IV, que es consistente con la presencia todavía de emisiones de C II.

Pero para el subtipo WC8, la dominancia a desaparecido, C III ahora está en niveles comparables a C IV, con lo cual inferimos que esa estrella tiene una mayor temperatura que hace crecer la presencia de C IV. Sin embargo, esta situación no va a compañada de la desaparición de C II. La situación no es tan recalcitrante, pero no deja de ser otra peculiaridad de las estrellas WR.¹⁸

Lejos de haberse terminado con la tarea clasificatoria, en la actualidad siguen apareciendo objetos que fundamentan sugerencias para la creación de nuevos taxones. La aventura continúa.¹⁹

IV. Conclusiones

Hemos presentado un caso de estudio histórico, que data de la década de 1980, época en la que ya habían pasado más de cien años de conocer los espectros estelares WR.

A lo largo de ese período, se habían producido ya varios catálogos, siendo el sexto catálogo de 1981 reuniendo información de alrededor de casi 200 estrellas de este tipo.

Mientras que el relevamiento seguía su curso activamente, del mismo modo seguían las discusiones en torno a la mejor clasificación capaz de resultar eficaz frente a las desafiantes características de estos objetos celestes.

Sin poder contar con modelos matemáticos capaces de reproducir las características espectrales observadas, la discusión sobre la interpretación de esas características y la forma de lidiar con las inconsistencias aparentes

18 Para una perspectiva más detallada sobre este tipo de estrellas, véase Crowther, 2007.

19 Véase Zhang et al., 2020 en referencia al descubrimiento de la estrella galáctica WR 121-16 que puede ser clasificada como una transición WR del subtipo WN7o/WC.

para el estado del arte, hacía de la tarea clasificatoria una aventura del descubrimiento, tan atenta a los nuevos datos como a las nuevas propuestas de reforma de la taxonomía.

En ese recorrido, se pueden encontrar jalones en los que se proponían taxones capaces de distinguir un determinado grupo de estrellas bajo cierto rótulo. Sin embargo, no pasaba mucho tiempo sin que la inspección de esa colección de casos obligara a volver sobre las definiciones de cada taxón y revisar cuáles debían ser los criterios capaces de sostener una mejor partición que la ensayada anteriormente.

El ejemplo histórico permite apreciar la interrelación entre las decisiones convencionales y las expectativas de poder distinguir diferentes tipos de objetos por características intrínsecas asociadas a los procesos naturales que tienen lugar en su seno. Es sencillo clasificar objetos en función de contribuciones que provienen del sujeto que los observa, pero la aventura científica consiste en tratar de encontrar clasificaciones sobre la base de propiedades, procesos y dinámicas propias del objeto estudiado, aún cuando no sea posible hablar de ello sin que haya un sujeto que estudie e identifique tales aspectos. El arte de generar una clasificación útil para comprender, explicar y predecir es una dimensión exquisita de la práctica científica y sus dificultades y diferentes estadios suelen ser invisibilizados una vez que hemos dado con una clasificación estable. Solo cuando sobreviene un cambio revolucionario capaz de llamar la atención de historiadores y filósofos es que se vuelve a focalizar en la compleja trama que mantiene entrelazadas las tareas de observar objetos y a la vez construir clasificaciones capaces de generar conocimiento a partir del ordenamiento que se ha logrado.

Referencias

- Abbott, D. C., & Conti, P. S. (1987). *Wolf-rayet stars. IN: Annual review of astronomy and astrophysics*. Volume 25 (A88-13240 03-90). Palo Alto, CA, Annual Reviews, Inc., pp.113-150.
- Beals, C. S., & Russell, H. N. (1939). Report of Sub-Committee on the classification of Wolf-Rayet stars. *Transactions of the International Astronomical Union*, 6, pp. 248-253.

- Barlow, M. J., & Hummer, D. G. (1982). *The WO Wolf-Rayet stars*. In Symposium-International Astronomical Union (Vol. 99, pp. 387-392). Cambridge University Press.
- Campbell, W. W. (1884). The Wolf-Rayet stars. *Astronomy and Astro-Physics* (formerly *The Sidereal Messenger*), 13, pp. 448-476.
- Crowther, P. A. (2007). Physical properties of Wolf-Rayet stars. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, 45, pp. 177-219.
- Fleming, W. P. (1912). *Galactic Wolf Rayet Catalogue*. Harvard College Obs. Ann. 56, p. 165. (último acceso: 23/06/2024) <http://www.pacrowther.staff.shef.ac.uk/WRcat/index.php>
- Galactic Wolf- Rayet Catalogue. [incluye la serie histórica de catálogos] (último acceso: 23/06/2024) <http://pacrowther.staff.shef.ac.uk/WRcat/history.php>
- Hillier, D. J. (1989). WC stars-Hot stars with cold winds. *Astrophysical Journal*, 347, pp. 392-408.
- Hoyningen-Huene, P. (2023). The Plausibility of Thomas Kuhn's Metaphysics. In *Perspectives on Kuhn: Contemporary Approaches to the Philosophy of Thomas Kuhn* (pp. 139-154). Cham: Springer International Publishing.
- Lundstrom, I. & Stenholm, B. (1983). En comunicación personal con Roberto Méndez.
- M., E. Stellar Atmospheres: a Contribution to the Observational Study of High Temperature in the Reversing Layers of Stars. *Nature* 116, pp. 530-532 (1925). <https://doi.org/10.1038/116530a0>
- Méndez, R. H., Miguel, C. H., Heber, U., & Kudritzki, R. P. (1985). Helium rich subdwarf O stars and central stars of planetary nebulae. In *Hydrogen Deficient Stars and Related Objects*. International Astronomical Union Colloquium (Vol. 87, pp. 322-343).

- Cambridge University Press. <https://www.cambridge.org/core/journals/international-astronomical-union-colloquium/article/helium-rich-subdwarf-o-stars-and-central-stars-of-planetary-nebulae/C5028EDF2FA80B40BF131DD7C9629FEB>
- Méndez, R. H., & Niemela, V. S. (1982). *A Reclassification of WC and "O VI" Central Stars of Planetary Nebulae, and Comparison with Population I WC Stars*. In *Symposium-International Astronomical Union* (Vol. 99, pp. 457-461). Cambridge University Press.
- Merrill, P. W. (1926). *Stellar Atmospheres. A Contribution to the Observational Study of High Temperature in the Reversing Layers of Stars*, Harvard Observatory Monographs No. 1.
- Miguel, H. (1984). *Comparación de estrellas Wolf-Rayet de distinta luminosidad. Tesis de Seminario. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. (En hemeroteca de la Facultad)*.
- Payne, C. H. (1925). *Stellar Atmospheres; a Contribution to the Observational Study of High Temperature in the Reversing Layers of Stars*.
- Payne, C. H. (1930). Classification of the O Stars. *Harvard College Observatory Bulletin No. 878*, pp. 1-6, 878, pp. 1-6.
- Roberts, M. S. (1962). The galactic distribution of the Wolf-Rayet stars. *Astronomical Journal*, Vol. 67, p. 79-85 (1962), 67, pp. 79-85.
- Rublev, S. V. (1975). *The Wolf-Rayet Stars*. *Symposium - International Astronomical Union*, 67, 257-274.
- Schmutz, W., Hamann, W. R., & Wessolowski, U. (1989). Spectral analysis of 30 Wolf-Rayet stars. *Astronomy and Astrophysics*, vol. 210, no. 1-2, pp. 236-248.
- Smith, L. F. (1968). A revised spectral classification system and a new catalogue for galactic Wolf-Rayet stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 138(1), pp. 109-121.

- Stix, M. (2004). The sun: an introduction. Springer Science & Business Media.
- van der Hucht, K. A. (2006). New Galactic Wolf-Rayet stars, and candidates-An annex to The VIIth Catalogue of Galactic Wolf-Rayet Stars. *Astronomy & Astrophysics*, 458(2), pp. 453-459.
- van der Hucht, K. A., Conti, P. S., Lundström, I., & Stenholm, B. (1981). The Sixth Catalogue of galactic Wolf-Rayet stars, their past and present. *Space Science Reviews*, 28, pp. 227-306.
- Zhang, W., Todt, H., Wu, H., Shi, J., Hsia, C. H., Wu, Y.,... & Hou, Y. (2020). A New Transition Wolf-Rayet WN/C Star in the Milky Way. *The Astrophysical Journal*, 902(1), p. 62.



“Las luces de San Cristóbal” y las heladas: un estudio etnoastronómico de relaciones con rasgos de contaminación lumínica en cielos de contextos rurales

Armando Mudrik*

Resumen

El presente trabajo aborda desde la óptica de la etnoastronomía, el estudio de “costumbres” vinculadas al espacio celeste presentes entre productores agropecuarios descendientes de migrantes europeos o “colonos”, radicados en localidades y zonas rurales originadas como colonias agrícolas en el centro-norte de la provincia argentina de Santa Fe, desde la segunda mitad del siglo XIX hasta mediados de siglo XX. Particularmente aquí, y a través de trabajo de campo propio, se indaga de manera incipiente en las relaciones con el fenómeno de contaminación lumínica que atraviesan la percepción del espacio celeste desarrollada por estos productores agropecuarios. En ese sentido, esta comunicación resulta un aporte a las discusiones en torno a los supuestos y valoraciones que atraviesan los proyectos de patrimonialización de cielos oscuros.

Palabras clave: Etnoastronomía, cielos rurales, contaminación lumínica, productores agropecuarios, Santa Fe (Argentina).

Abstract

By using a ethno-astronomical perspective, and based on our own ethnographic work, we study “customs” related to the sky present among farmers descendants of European migrants or “colonos”, settled in the central-northern area of the Argentinean province of Santa Fe from the second half of the 19th century until the first half of the 20th century, during the process of colonization of southern Argentine Chaco region. Particularly, we investigate the traditional perception of the phenomenon

* Instituto de Antropología de Córdoba - CONICET- UNC

of light pollution developed by these farmers. So, this paper is a contribution to the discussions on the assumptions and valuations that underlie the projects for the patrimonialization of dark skies.

Keywords: Ethnoastronomy, Rural skies, Light pollution, farmers, Santa Fe (Argentina).

I. Introducción

En el presente trabajo abordaremos, desde la óptica de la etnoastronomía (López, 2015), el estudio de “costumbres”¹ vinculadas al espacio celeste presentes entre productores agropecuarios descendientes de migrantes europeos o “colonos” radicados en localidades y zonas rurales originadas como colonias agrícolas en el centro-norte de la provincia argentina de Santa Fe, desde la segunda mitad del siglo XIX hasta mediados de siglo XX (Dalla-Corte Caballero, 2012; Mudrik, 2019a). Particularmente aquí nos interesa tratar las percepciones de rasgos de contaminación lumínica que atraviesan las relaciones con el espacio celeste desarrollada por estos productores agropecuarios. Como veremos, estas relaciones articulan fuertemente con lógicas y esquemas tradicionales de clasificación de lo celeste vinculados al plano de las tareas productivas de los actuales productores y de sus antecesores migrantes radicados durante el citado proceso de “colonización” en la región.

Así, para esta comunicación, retomamos parte de nuestro trabajo de campo etnográfico desarrollado a través de varias campañas desde marzo de 2010 hasta el presente. Particularmente, recurrimos aquí a prácticas y discursos reconstruidos a partir del acompañamiento en tareas cotidianas y entrevistas a productores agropecuarios nietos e hijos de colonos italianos, suizos, alemanes del Volga y españoles presentes en las localidades y zona rural de Santurce, San Cristóbal y Ñanducita [fig. 1]. Este dato de filiación nos servirá para aclarar el origen de los saberes tradicionales² que abordaremos aquí. En este sentido, la mayoría de los colonos o mi-

1 Las categorías y discursos emic son citados entre comillas; mientras que las categorías etic en itálica.

2 La concepción de tradicional que se está implementando aquí como categoría analítica será desarrollada más adelante en el texto. Asimismo, dado que “tradicional” se presenta como categoría emic, se aclarará la relación entre ambos usos.

grantes asociados a estos interlocutores, provenían de pequeñas aldeas o eran campesinos en Europa, y estaban vinculados a las tareas agrícolas o desempeñaban oficios ligados a actividades agropecuarias. Según los testimonios, estos migrantes desarrollaban en aquel contexto una explotación agrícola en pequeñas chacras; en contraste con la situación a la que se integrarían en el nuevo marco migratorio: una economía agropecuaria de producción a mayor escala integrada a un modelo exportador (Bonaudo, 2006).

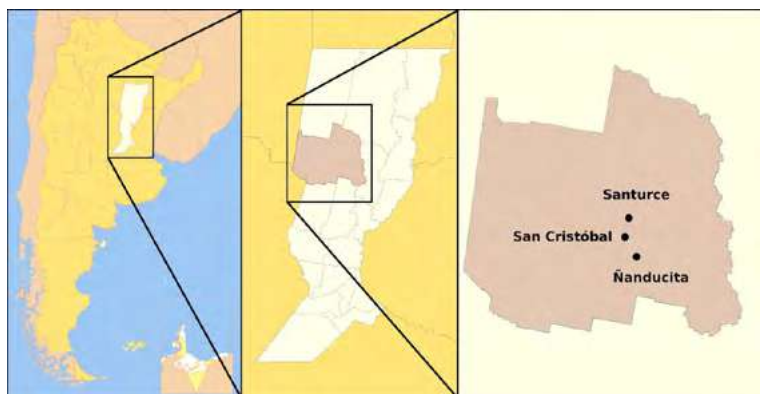


Figura 1. Localidades y zonas rurales comprendidas en el trabajo de campo etnoastronómico. Se ubican en el departamento San Cristóbal, en la provincia argentina de Santa Fe (modificado de Wikimedia Commons).

Las principales actividades productivas desarrolladas por nuestros interlocutores son la ganadería bovina y la agricultura ligada al cultivo de forrajes. Gran parte de las personas con las que nos vinculamos ya no residen en sus “campos” (donde antes vivieron ellos, sus padres o abuelos), sino en las localidades más próximas. Algunos siguen vinculados de manera directa a la explotación agropecuaria; y otros, luego de haberlo hecho hasta hace poco, ahora concesionan parte de “los campos” a terceros para su explotación. Actualmente son muy pocas las familias, como aquellas con las que trabajamos en las zonas rurales de Santurce y Ñanducita, que aún residen en las chacras heredadas de sus ascendientes “colonos” y continúan explotándolas.

Si bien todos han pasado por distintas etapas del proceso de educación formal y poseen educación escolar primaria, sólo algunos interlocutores completaron la educación secundaria o tienen una trayectoria universitaria. Esta aclaración viene a cuenta de que a pesar de tratarse de personas a las que la visión científica del mundo no les es ajena, ninguno ha tenido o tiene un acercamiento formal con la astronomía académica.

II. Sobre las ideas y prácticas celestes tradicionales registradas en campo

Acerquémonos ahora a una descripción general de los vínculos con el cielo que caracterizan al grupo social comprendido en este trabajo. Para ello, partimos de un conjunto de “costumbres”, ideas y prácticas (que hemos podido reconstruir a través del citado trabajo de campo propio), ligadas a distintos planos de la vida social de nuestros interlocutores, en las que pueden entrecruzarse diferentes formas “tradicionales” de percibir y relacionarse con el espacio celeste (Mudrik, 2019a; 2019b).

Particularmente, al analizar estas “costumbres” ligadas al ámbito productivo de nuestros interlocutores, vemos, por un lado, que las lógicas y esquemas generales de clasificación y representación del cielo puestas en juego en este contexto forman parte de un conjunto más amplio de saberes que los colonos (antecesores de los productores agropecuarios abordados) *tradicionalmente* ya consideraban en Europa (Iwaniszewski, 2006; Belmonte Avilés y Sanz de Lara Barrios, 2001; Barale, 2015; Vilas Estevez, 2014). Así también, por otra parte, se vislumbra que las lógicas y modelos articulados en torno a lo celeste presentes en estas “costumbres”, dan indicio de un aspecto transversal: el de las consonancias cielo-tierra.

De hecho, estas concepciones y prácticas *tradicionales* nos hablan de que los colonos y sus descendientes (los productores agropecuarios con los que nos vinculamos) ven en el cielo un espacio de *signos o señales* que deben ser leídos para determinar ciertas fases de distintas actividades, procesos o fenómenos dados en el ámbito terrestre. En particular, considerando las complejidades del campo social local, hemos reconstruido en trabajos previos, por ejemplo, cómo son tradicionalmente leídas ciertas “señas” astronómicas en tanto anuncio de fenómenos meteorológicos importantes en el contexto de las estrategias agroproductivas y la implemen-

tación de prácticas y conceptos de origen agrotécnico (Mudrik, 2019a; 2019b).

Cabe aclarar que, retomando su sentido local, entendemos aquí por *tradicional*, no a un conocimiento ancestral e inmutable, sino a un conjunto de saberes y prácticas transmitidos en el contexto de la socialización cotidiana que nos fueron señaladas por la gente como “costumbres”. Un conocimiento que ha tenido y tiene relevancia para la vida diaria del grupo social abordado y que es concebido como legítimo porque se entiende que se apoya en la autoridad de las generaciones pasadas (“los abuelos”, “los colonos”, “los antiguos”). Asimismo, el conocimiento aquí comprendido, como mencionamos antes, tiene sus orígenes en costumbres europeas propias de culturas orales (Ong, 2011, pp. 38-80), lo que caracteriza tanto sus formas específicas como sus contenidos. Además, al ser transmitido oralmente y en el contexto de la práctica, este conocimiento celeste *tradicional* fue aprendido e incorporado en tanto *habitus* (Bourdieu, 1997). Este concepto bourdiano ligado a la práctica y a la socialización primaria nos brinda, por un lado, la posibilidad de formalizar o construir un marco explicativo de la noción local de “tradicional” y apropiarla en este contexto como categoría analítica que permita diferenciar este conocimiento importante en la vida de nuestros interlocutores. Por otro lado, la idea de *habitus* de Bourdieu también será utilizada aquí para dar cuenta de los modos en que “colonos” y productores agropecuarios han tendido y tienden a percibir fenómenos celestes. Dicho de otro modo, esta idea de *habitus* nos permite reconstruir los esquemas de organización con los que la gente ha dado y da sentido al cielo; y cómo, el grado de flexibilidad de estos esquemas de organización, permitió a los colonos y sus descendientes afrontar el brusco cambio de hemisferio experimentado en el proceso migratorio y otros procesos históricos, apelando para ello a esquemas de improvisación reglada que su *habitus* les ha proporcionado (Mudrik, 2019a; 2019b).

En este sentido, estos modos *tradicionales* de relacionarse con el cielo han cambiado a lo largo del tiempo y han sido conformados por complejas influencias de escala local, regional y global. Incluyen vínculos (en algunos casos tensos) con el saber escolar y científico; y a la vez, como veremos a continuación, presentan una relación dinámica con los cambios físicos presentados en el cielo nocturno a partir del fenómeno que en el marco de la astronomía académica es conocido como contaminación lumínica.

III. Cuando la contaminación lumínica es otro rasgo más del cielo

En los cielos de zonas rurales como en las que viven algunos de nuestros interlocutores (considerablemente apartadas de las luces de pueblos y ciudades, con caminos rurales y chacras escasamente iluminadas) los principales aspectos visibles de contaminación lumínica son manifestaciones de brillo con forma de domos o cúpulas que producen a lo largo del horizonte las luces artificiales de centros urbanos de la región. O sea, en estas áreas rurales en donde el cielo es relativamente oscuro en el cenit, se distingue una degradación de oscuridad significativa en sectores a lo largo del horizonte provocada por estos domos de luz asociados a los centros urbanos próximos³. El más importante de los domos o cúpulas brillantes observados en la noche cerca del horizonte desde las zonas rurales de Santurce y Ñanducita, es el que genera la ciudad más cercana, San Cristóbal, ubicada aproximadamente a 15 km de distancia de aquellos contextos rurales.

Ahora bien, diferentes instancias del trabajo de campo han ofrecido algunas experiencias etnográficas ligadas a las relaciones establecidas por algunos de los interlocutores con estas manifestaciones visibles sobre el horizonte de contaminación lumínica del cielo. Podemos decir que nuestro interés por este fenómeno surge a partir de lo registrado en una noche de enero de 2017 al acompañar en la tarea de realizar “un asado” en el exterior del espacio doméstico de su chacra a uno de nuestros interlocutores en Santurce. Mientras conversábamos sobre “el calor” que estaba “haciendo” por esos días, esta persona expresó:

“[mientras señalaba extendiendo el brazo derecho hacia la región austral del horizonte] ahora para allá hay que mirar cuando viene tormenta, de allá vienen, y mirá, aquellas son las luces de San Cristóbal [señalándome la manifestación de contaminación lumínica cerca del horizonte] cuando está por helar se ven claritas, patente cuando va a helar, hace como un arco, como una curva, se ve bien cuando va a helar seguro, nos fijamos, miramos San Cristóbal [...]”.

3 En las zonas rurales en donde residen nuestros interlocutores se observan cielos ubicados dentro de la clase 3 (“rural sky”) de la escala de contaminación lumínica de Bortle (Bortle, 2001, Nordgren, 2016, p. 199). La Vía Láctea es distinguible con algunas de sus complejidades y se aprecian sobre el horizonte domos de luz artificial generada por los centros urbanos próximos.

Este comentario generó una movilización reflexiva en pro de la consideración de lo que ya había sido señalado anteriormente por otros interlocutores en el trabajo de campo en Santurce y Ñanducita: “Las luces de San Cristóbal”, “aquel vislumbre”, “el vislumbre que viene de San Cristóbal”, o “San Cristóbal”, en referencia al rasgo de contaminación lumínica observado sobre el horizonte y generado desde la ciudad de San Cristóbal. En este sentido, expresiones similares a la citada anteriormente, también pudimos recoger entre otros descendientes de colonos, productores agropecuarios de esas zonas, quienes en particular, en el marco de algunas conversaciones, me explicaban que “cuando hela” o “para saber si va a helar”, “hay que ver [a la mañana temprano o al comienzo de la noche] la forma de las luces de San Cristóbal”, “ver bien el vislumbre de San Cristóbal” o “ver bien San Cristóbal”; haciendo referencia de este modo al caso de distinguir o no la forma del domo de luz sobre el horizonte asociado a aquella ciudad. Asimismo, resulta relevante en este contexto, que, para algunos interlocutores en Santurce, que se “vean bien las luces de San Cristóbal” viene emparejado a que el horizonte en esa dirección “se limpie”, “como si no hubiera monte” u otros obstáculos que dificulten su clara observación. “Hay días que se ven los reflejos, otras veces bien claras, y a veces nada, pero cuando hela sin niebla baja se ven bien”, expresaba Néstor, productor que reside en la zona rural de Santurce acerca de “las luces de San Cristóbal”.

Estas experiencias etnográficas resultan un dato etnoastronómico interesante en el sentido de que nos muestran cómo el aporte de contaminación lumínica por parte de las “luces de San Cristóbal” observado en aquellos cielos rurales, es socialmente considerado un rasgo celeste más, cuyos determinados aspectos visibles, presentados en determinadas circunstancias, son leídos desde las formas tradicionales de percibir el cielo como “seña” o anuncio de heladas. De este modo, el observar o no aquel domo de luz, o la apariencia del mismo, resulta una señal que en términos tradicionales anuncia o no un fenómeno ambiental relevante en el contexto de las actividades productivas realizadas en “los campos”. Asimismo, no es algo menor el hecho de que este rasgo de contaminación lumínica observado sea ligado por la gente a un fenómeno ambiental como es una helada, tradicionalmente conceptualizado como algo “que cae”, que viene de arriba, del cielo. Este concepto se ve reflejado además en la práctica que desarrollan los interlocutores que, cuando saben que puede llegar a

ocurrir, cubren plantas con lonas o telas para protegerlas de “la helada que va a caer”.

Por otro lado, en primera instancia (ya que este será un tema a desarrollar en profundidad en futuros trabajos), nada parecería indicar que una distinción entre *natural* o *artificial* estuviera teniendo relevancia operativa en la forma *tradicional* de percibir estos rasgos de contaminación lumínica sobre el horizonte que aquí presentamos. Lo que resulta operativamente relevante es el poder distinguir “bien” y la “forma” del rasgo de contaminación lumínica. Por ello, “las luces de San Cristóbal” se distinguen, “se ven”, se presentan para estas personas de una “forma” u otra, percibiéndose en cierto sentido con un carácter de agencia propia que se asemeja a la de cualquier otro rasgo “natural” socialmente importante del cielo. Más allá del caso comprendido en esta comunicación, la agencia o margen de acción que se atribuye a lo “artificial” en otros contextos del habitar de estas personas está ligado a la intervención o a la actividad humana. Para “las luces de San Cristóbal”, el grado de agencia que la gente le atribuye al percibir las en el marco de “anuncio” de heladas, es similar al grado de agencia con el que se percibe a la luna o al sol en relación a la variación de su apariencia y el anuncio o “seña” de la ocurrencia de fenómenos en el plano terrestre como lluvias, entre otros. Un modo “natural” de comportarse, tal como estas personas tradicionalmente perciben que lo hacen otros rasgos del cielo (Mudrik, 2019a; 2019b).

IV. Tensiones con propuestas de patrimonialización de cielos oscuros

Estas relaciones establecidas por los interlocutores con el rasgo de contaminación lumínica asociado a San Cristóbal observado en sus cielos rurales, muestran que se extienden a ellas los modos en que tradicionalmente se han percibido rasgos del cielo nocturno que calificaríamos de “naturales”. Por ello, cabe preguntarse si esta contaminación lumínica es experimentada por este grupo humano como una “pérdida” de la calidad de su cielo nocturno, o como una “degradación” del mismo, tal como suponen los programas de patrimonialización de cielos oscuros (UNESCO, et al., 2007). Planteando una tensión con el concepto estático de cultura con el que estos programas articulan (Ruggles, 2017); nuestro trabajo muestra *cielos vivos*, dinámicos, presentando la posibilidad de un marco diferente

para la exploración de las relaciones humanas locales con los cambios producidos por la contaminación lumínica.

Sin desconocer contextos socioculturales y étnicos en los que intereses en términos de patrimonialización, de reproducción cultural, o de otros factores, se movilizan para la protección de cielos oscuros (Shariff, Hamidi & Faid, 2017; Fransen, 2019); la mayoría de las campañas, siguen la lógica de astrónomos profesionales que intentan extender su preocupación profesional y presentarla como una preocupación social general. Pero, ¿existe una preocupación general por la experiencia del cielo oscuro? ¿O nos encontramos ante todo un abanico de actitudes y vínculos con los cambios en las condiciones del cielo nocturno? La pretendida universalidad de las valoraciones en torno al fenómeno de contaminación lumínica del cielo es algo difícil de esperar a la luz de las contribuciones que presentamos aquí y que pueden realizarse desde la etnoastronomía.

En este sentido, resulta interesante que, a pesar de que expresen que antes “se veían menos luces”, estos rasgos de contaminación lumínica sobre el horizonte no son explícitamente valorados negativamente entre nuestros interlocutores, por lo menos contemporáneamente. Es más, si tenemos en cuenta el tono con que se expresan cuando hablan de “las luces de San Cristóbal”, nada indica que su visibilidad actual sea fuente de malestar. Es para ellos un rasgo celeste más que está ahí y se ve. La gente habla sobre cómo se ven estas “luces” o este “vislumbre”, como si estuviera hablando del brillo o aspecto de cualquier otro rasgo celeste.

Por otro lado, aunque la contaminación lumínica de los cielos de la región se trate de un proceso en el cual el cielo ha ido cambiando gradualmente, el mismo no es percibido de manera general por todos los interlocutores. Si bien no todos expresan que en contextos rurales “ahora se ven menos estrellas que antes”, algunos de los que lo mencionan no parecería que lo vinculen directamente con el aporte al brillo de cielo que hacen las luces de los centros urbanos. De hecho, interlocutores que residen en San Cristóbal, han preguntado “¿por qué en la ciudad no se ven las estrellas?”, siendo que “en el campo se ven más y es lindo verlas”.

Que “se vean menos estrellas”, para los interlocutores que así lo señalan, tiene que ver con la percepción general de que “todo cambia”, haciendo alusión no sólo a las transformaciones ambientales que la gente viene percibiendo, sino también a los cambios dados en las formas de vida manifestados en los dinámicos usos de la tecnología. En este sentido, los

cambios en el cielo propiciados por la contaminación lumínica parecerían ser entendidos como algo del orden de lo inevitable, cuya ocurrencia es indefectible y ligada al carácter transitorio de todo lo que es. Se trata, en ese sentido, de la aplicación a lo celeste de una percepción del devenir terrestre en general (y humano en particular) como algo inevitable, una suerte de destino de cambio permanente. Estos cambios celestes resultan entendidos, por lo tanto, como parte de procesos de cambio en el plano terrestre, lógica que de alguna manera parece seguir reflejando la percepción *tradicional* de relaciones cielo-tierra que, a diferencia de otras formas de percibir el vínculo entre estos ámbitos, los entiende a ambos como sometidos al devenir y la impermanencia.

En definitiva, aunque algunos sí notan que “se ven menos estrellas”, para estos interlocutores este proceso parece no preocuparles de la misma forma que a la comunidad astronómica, ni resulta ser valorado de la misma manera. Salvo por el antecedente de un proyecto de reducción de contaminación lumínica presentado públicamente en 2009 y desarrollado por aficionados, docentes e interesados en la astronomía nucleados en un espacio municipal de formación en ciencias en San Cristóbal; la experiencia de cielos oscuros no es algo que manifiestamente se busque conservar entre los interlocutores en la zona.

Estos aspectos aquí comparados en el análisis refuerzan que los rasgos de contaminación lumínica no tienen sólo un papel negativo (o de ocultamiento de lo que *naturalmente* puede ser visto en el cielo), si no que pueden tener un rol activo en la manera de vincularse con el cielo de grupos humanos contemporáneos. El colectivo humano aquí abordado no ve actualmente la contaminación lumínica como un problema que hay que resolver, si no como algo que indefectiblemente está pasando en sintonía con otros cambios dados en el plano terrestre; y que termina aportando otro rasgo más del cielo que articula con las formas *tradicionales* de percibir lo celeste.

V. Discusión y cierre

Como hemos visto en este trabajo (retomando anteriores), las actividades productivas cotidianas llevadas a cabo por los productores agropecuarios abordados y sus antecesores “colonos” en sus chacras, estuvieron y están atravesadas por maneras *tradicionales* de tender a organizar y estructurar

su percepción, experiencias y representaciones del espacio celeste. Las mismas se caracterizan por un aspecto transversal: el del establecimiento de consonancias entre ciertos fenómenos celestes y terrestres. De hecho, desde esta perspectiva *tradicional*, el cielo se presenta como un espacio de *señales* que son leídas para determinar ciertas fases de distintas actividades, procesos o fenómenos considerados relevantes en el ámbito terrestre. Y como da cuenta nuestro trabajo de campo, este es el marco de relaciones *tradicionales* que también articula con manifestaciones de contaminación lumínica presentes en los cielos de la región aquí comprendida.

Por lo tanto, estos modos *tradicionales* de relacionarse con lo celeste, incorporados en tanto *habitus* (Bourdieu, 1997) por el grupo social abordado, presentan una relación dinámica y flexible con los cambios físicos presentados en el cielo nocturno a partir del fenómeno de la contaminación lumínica. En otras palabras, el aporte etnoastronómico de nuestro trabajo permite dar cuenta de cómo se da una continuidad importante en los *habitus* que estructuran la base de percepciones, representaciones y prácticas vinculadas al espacio celeste en el marco de las actividades agropecuarias de nuestros interlocutores, aunque los fenómenos o rasgos celestes a estructurar hayan cambiado o sean otros. Esto, a la vez, nos permite dar cuenta de otro aspecto de la dimensión histórica de las construcciones aquí abordadas (en el sentido de la propuesta de Sahlins (1988)), poniendo de relieve los efectos de las coyunturas en procesos de transformación cultural, como así también la creatividad de los agentes involucrados. Así, vemos cómo esquemas *tradicionales* y flexibles se reconfiguran en diálogo con rasgos del cielo con los que los “colonos” y sus descendientes, los productores agropecuarios de la región, históricamente fueron familiarizándose. Dicho de otro modo, el núcleo o las “lógicas” profundas que estructuran esta experiencia *tradicional* del cielo no son tanto un “vocabulario” de lo celeste, un repertorio fijo de rasgos a ver en el cielo, sino una manera de construir modos de dar sentido a las diversas cosas que pueden ir “apareciendo” en el cielo, de acuerdo a esquemas de improvisación estructurada aprendidos en la socialización primaria.

Por otro lado, la astronomía cultural y, desde ese marco, los aportes de este incipiente trabajo, exponen algo ya también señalado por Ruggles (2017): las tensiones y conflictos que surgen cuando se busca pensar universalmente mediante la noción de patrimonio de UNESCO el carácter dinámico y múltiple de las concepciones y prácticas sobre lo celeste. En

particular, podemos ver que los supuestos desde los que parten proyectos como los de patrimonialización de los cielos oscuros que adhieren a la Declaración de La Palma (UNESCO, et al., 2007), articulan con conceptos de cultura y sociedad estáticos, que no dan lugar al aspecto dinámico de las mismas, y que a la vez traen aparejadas concepciones de lo “tradicional” y “auténtico” asociados a sistemas bien definidos por características inmutables. Esto implicaría pensar en términos de “pérdida” los cambios culturales y sociales dados por coyunturas históricas, como, por ejemplo, los vinculados a relaciones con nuevos rasgos del cielo surgidos a partir de la contaminación lumínica.

Siguiendo a López (2022), podemos decir que estos imaginarios socio-culturales en los que se sostienen los proyectos de patrimonialización no encajan adecuadamente de modo general con las formas dinámicas en las que funcionan las sociedades donde la oralidad sigue siendo relevante en el contexto de su producción cultural. Como hemos visto en este trabajo, las formas *tradicionales* en que productores agropecuarios perciben determinadas manifestaciones de contaminación lumínica, no son parte de un proceso de “aculturación”, son verdaderas creaciones culturales dadas en un contexto histórico en particular.

Así también, la pretendida universalidad de las valoraciones en torno al fenómeno de contaminación lumínica del cielo que desde la astronomía (o la ciencia occidental) y los proyectos de patrimonialización se sostiene, en realidad es algo difícil de esperar a la luz de las contribuciones que la etnoastronomía puede realizar. Como nos aclara David Bloor (1998, p.71), “no hay nada de extraño en que el simple hecho de observar el mundo no nos conduzca a ponernos de acuerdo sobre cuál debe ser la verdadera descripción que debamos dar de él”. O sea, una posible universalidad de la experiencia de observación de contaminación lumínica del cielo (tanto de la aparición como de la desaparición de rasgos celestes), no es sinónimo de una universalidad del sentido asociado a esta. “La misma experiencia conlleva reacciones diferentes al enfrentarse con diferentes sistemas de creencias” (Bloor, 1998, p.71). Una “experiencia”, como la de observar el cielo, siempre tiene lugar sobre un estado anterior de “creencias”; y si bien la “experiencia” puede provocar cambios en las “creencias”, por sí sola no determina el estado de las mismas (Bloor, 1998, pp. 70-71). En suma, sería interesante tener esto en cuenta cuando desde emprendimientos de patri-

monialización de cielos oscuros se asume como una preocupación social general preocupaciones surgidas de un contexto particular.

Por último, el incipiente estudio aquí presentado puede resultar una contribución o entablar un diálogo con los esfuerzos que desde el campo de la física se vienen realizando para cuantificar y mapear el brillo de cielo nocturno a escala global, a partir de imágenes satelitales nocturnas (Cinzano, Falchi & Eldvidge, 2001). Como señalan Cinzano & Eldvidge (2004), para cuantificar y determinar la distribución espacial de la contaminación lumínica no sólo es importante considerar los aportes de luces artificiales emitidas desde distintos puntos de la Tierra, si no también tener en cuenta condiciones atmosféricas y orográficas. Por lo tanto, para elaborar un mapa de contaminación lumínica global es importante fijar y establecer las condiciones atmosféricas bajo las cuales se observan esos niveles de brillo de cielo que se presentan en dicho mapa. En ese sentido, aunque el nuestro es un aporte cualitativo, puede resultar valiosa la perspectiva aquí reconstruida de nuestros interlocutores (en particular el vínculo con el fenómeno de las heladas), en las discusiones en torno a la consideración de los modelos atmosféricos que intervienen en estos mapeos de contaminación lumínica.

Referencias

- Barale, P. (2015). Lost Skies of Italian Folk Astronomy. En C.N.L. Ruggles. (Ed.), *Handbook of Archaeoastronomy and Ethnoastronomy* (pp. 1757-1766). New York, USA: Springer.
- Bonaudo, M. S. (2006). *La tierra y el sueño de fare l'America*. En M.S. Bonaudo. (Ed.), *La organización productiva y política del territorio provincial (1853-1912)* (pp. 31-55). Rosario, Argentina: Prohistoria.
- Belmonte Avilés, J. A. y Sanz De Lara Barrios, M. (2001). *El cielo de los magos: Tiempo astronómico y meteorológico en la cultura tradicional del campesinado canario*. Islas Canarias, España: La Marea.
- Bloor, D. (1998). *Conocimiento e imaginario Social*. Barcelona, España: Gedisa.

- Bourdieu, P. (1997). *Razones prácticas. Sobre la teoría de la acción*. Barcelona, España: Anagrama.
- Bortle, J.E. (2001). Introducing the Bortle Dark-Sky Scale. *Sky and Telescope*, (101) 2, pp. 126-129.
- Cinzano, P., F. Falchi & C.D. Elvidge (2001). The First World Atlas of the Artificial Night Sky Brightness. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 328, pp. 689-707.
- Cinzano, P. & C. D. Elvidge (2004). Night sky brightness at sites from DMSP-OLS satellite measurements. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 353, pp. 1107-1116.
- Dalla-Corte Caballero, G. (2012). *Mocovíes, franciscanos y colonos de la zona chaqueña de Santa Fe (1850-2011)*. El liderazgo de la mocoví Dora Salteño en Colonia Dolores. Rosario: Prohistoria.
- Fransen, D. (2019). *Reconnecting with the Sky: A Journey Through Nova Scotia's Cultural Landscape* (Tesis de grado). Dalhousie University. Halifax, Canadá.
- Iwaniszewski, S., (2006). Lunar agriculture in Mesoamerica. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, (6), 3, pp. 67-75.
- López, A. M. (2022). “El cielo entre nosotros: Patrimonio y dinámicas socioculturales en el Chaco Argentino”. En L. Ferrero y E. Restrepo (Eds.), *Memorias del VI Congreso de la Asociación Latinoamericana de Antropología: “Desafíos Emergentes. Antropologías desde América y El Caribe”*, Vol. 6, (pp. 443-452). Montevideo, Uruguay: Asociación Latinoamericana de Antropología.
- López, A. M. (2015). Cultural Interpretation of Ethnographic Evidence Relating to Astronomy. En C.N.L. Ruggles. (Ed.), *Handbook of Archaeoastronomy and Ethnoastronomy* (pp. 341-352). New York, USA: Springer.

- Mudrik, A. (2019a). *Astronomías de migrantes y sus descendientes en el contexto de colonias agrícolas del sur de la región chaqueña argentina* (Tesis de grado). Facultad de Matemática, Astronomía y Física. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.
- Mudrik, A. (2019b). Luna e identidad entre migrantes europeos y sus descendientes en el sur de la región chaqueña argentina. *Avá*, 35, pp. 181-212.
- Nordgren, T. (2016). At Night's End. En D. Gunzburg (Ed.) *The Imagined Sky. Cultural Perspectives* (pp. 191-214). Sheffield, UK: Equinox Publishing Ltd.
- Ong, W. J. (2011). *Oralidad y escritura. Tecnologías de la palabra*. Buenos Aires, Argentina: Fondo de Cultura Económica.
- Ruggles, C. (2017). "Discussion". En C.N.L. Ruggles & M. Cotte (Eds.) *Heritage Sites of Astronomy and Archaeoastronomy in the context of the UNESCO World Heritage Convention. Thematic Study*, vol. 2 (pp. 291-304). París, Francia: ICOMOS.
- Shariff, N.N.M., Hamidi, Z.S., & Faid, M.S. (2017). The Impact of Light Pollution on Islamic New Moon (hilal) *Observation International Journal of Sustainable Lighting*, 19(1), pp. 10-14.
- UNESCO, OMT, IAU, PNUMA-CMS, CE, SCDB, CIE, Programa MaB y Convención Ramsar (2007). *Declaración sobre la Defensa del Cielo Nocturno y el Derecho a la Luz de las Estrellas*. Declaración de La Palma. Recuperado de https://fundacionstarlight.org/docs/files/77_declaracion-sobre-la-defensa-del-cielo-nocturno-y-el-derecho-a-la-luz-de-las-estrellas.pdf
- Vilas Estevez, B. (2014). A review of the cosmological beliefs and traditions that have influenced farmers in Bueu, a rural village in Galicia. *Spica*, 2(1), pp. 5-19.



Experiencia y relatividad: Comentarios sobre la Teoría de la Relatividad de A. N. Whitehead

Bárbara Páez Sueldo*

Resumen

Este trabajo analiza la crítica de Whitehead a la teoría de la relatividad de Einstein, enfocándose en los elementos de la percepción. Se examina cómo Whitehead presenta estos elementos en sus obras de 1920 y 1922, destacando su importancia para entender la experiencia de la naturaleza y evitar la bifurcación en la que incurre la ciencia. Así, se explora cómo Whitehead emplea estos elementos para cuestionar la interpretación de Einstein y proponer una visión alternativa de la relatividad. Se concluye que Whitehead busca una teoría más acorde con la experiencia humana, cuestionando los presupuestos metafísicos de conceptos como espacio, tiempo y materia.

Palabras clave: Whitehead, percepción, experiencia, naturaleza, relatividad.

Abstract

This paper analyzes Whitehead's critique of Einstein's theory of relativity, focusing on the elements of perception. It examines how Whitehead presents these elements in his works from 1920 and 1922, highlighting their importance for understanding the experience of nature and avoiding the bifurcation that science incurs. Thus, it explores how Whitehead employs these elements to question Einstein's interpretation and propose an alternative vision of relativity. It concludes that Whitehead seeks a theory more attuned with human experience, questioning the metaphysical assumptions underlying concepts such as space, time, and matter.

Keywords: Whitehead, Perception, Experience, Nature, Relativity

* Facultad de Filosofía y Humanidades, Universidad Nacional de Córdoba.

I. Introducción

Durante los años 1918 a 1922 el matemático y filósofo Alfred North Whitehead publicó tres libros (los cuales el autor prefiere sean tomados en conjunto) que analizan el carácter de nuestro conocimiento de la naturaleza (Whitehead, 1922). Particularmente, la propuesta es asumir las consecuencias metafísicas de la teoría de la relatividad de Einstein¹ a la luz de lo que efectivamente es entregado por la percepción. Esto es abordado de diversas maneras, desde el ámbito de la filosofía, física, álgebra y geometría, y en distintos registros de complejidad según es requerido por el tema en cuestión.

Atendiendo a dicho asunto, en los tres libros es posible destacar como hilo conductor el problema de la bifurcación de la naturaleza en las ciencias, presentado explícitamente en el segundo libro, *El concepto de naturaleza* (Whitehead, 1920/2019). De acuerdo con Whitehead, quienes incurrir en este problema, al obviar las consecuencias de la herencia metafísica de la filosofía griega, cometen el error de analizar una misma naturaleza en base a dos órdenes de realidad. Presentados en la segunda de las tres obras, son los elementos de la percepción la base para develar los orígenes filosóficos de la bifurcación y comprender cómo pudo tener lugar según la forma en la cual experimentamos la naturaleza. A grandes rasgos, la apuesta de Whitehead en el último libro de la tríada es cuestionar si los elementos matemáticos utilizados por Einstein se corresponden con nuestra experiencia de la naturaleza (Desmet, 2009). Este análisis tiene como telón de fondo el problema de la bifurcación, prestando atención a la herencia metafísica involucrada en conceptos como espacio, tiempo y materia.

Para lograr una mejor comprensión del diagnóstico crítico de la relación entre la teoría de la relatividad de Einstein presentado por Whitehead, es fundamental familiarizarse con algunos conceptos claves de la

¹ Whitehead analiza y responde a la teoría de la relatividad general de Einstein, la cual incentiva sus obras durante el periodo a considerar en este trabajo. Es posible hallar evidencia de que Whitehead estaba informado acerca de la teoría de la relatividad especial en su conferencia “*Space, Time and Relativity*” de 1915. Lo mismo sucede con la teoría de la relatividad general: Whitehead se hallaba presente en la reunión del 6 de noviembre de 1919, en las cuales se proporcionó la primera confirmación experimental de la teoría de la relatividad general de Einstein (Stolz, 1994).

filosofía de este último. La realidad está compuesta por eventos² interrelacionados que pueden ser aprehendidos por la percepción sensorial y sus componentes. Teniendo en cuenta que la pregunta principal en esta última entrega será ¿concuerda la teoría de la relatividad con nuestra experiencia de la naturaleza?, es fundamental revisar la propuesta whiteheadiana de la percepción (Fowler, 1975). Así, el foco de este trabajo no será la crítica del filósofo a los elementos matemáticos de la teoría de la relatividad, sino el examen de los cambios en la presentación de los elementos de la percepción de la naturaleza, siendo que Whitehead considera que estos refuerzan su tesis. De esta forma, se busca rastrear cómo estos elementos son reintroducidos en *The Principle of Relativity with Applications to Physical Science* (Whitehead, 1922).

En la primera sección se contextualizan dichos elementos –pensamiento, advertencia sensorial y sus componentes– en relación con la experiencia de la naturaleza según *El concepto de naturaleza* (Whitehead, 1920/2019). En la segunda sección, se introducen los elementos nuevamente, ahora en el marco de su obra de 1922, haciendo énfasis en sus modificaciones. En conclusión, se buscará mostrar que en tanto estos elementos son parte del aparato perceptivo de la experiencia de la naturaleza, son la base argumentativa sobre la cual Whitehead asienta sus críticas, sea a los antiguos griegos o a la interpretación epistemológica y metafísica de la teoría de la relatividad general de Einstein (Neidorf, 1959). Si la investigación de las ciencias físicas no puede tener como punto de partida crear un modelo conceptual recurriendo exclusivamente a la matemática, es necesario investigar cómo entran en juego los elementos que reportan las características generales de nuestra experiencia (Whitehead, 1922).

2 Un evento es un suceso espacio-temporal; no es algo que pueda extrapolarse del espacio-tiempo, sino que permite comprender al espacio-tiempo como una abstracción del continuo de relaciones de eventos. Así, evento pasa a ser entendido como un mediador entre el espacio y el tiempo (Tanaka, 1983). Para Whitehead la noción de evento será uno de los conceptos centrales para su propuesta de una teoría de la relatividad alternativa, íntimamente relacionado a su interés por superar la bifurcación de la naturaleza que encuentra en la teoría de la relatividad de Einstein (Stolz, 1994).

II. Los elementos de la percepción sensorial y la herencia filosófica

En *El concepto de naturaleza* (Whitehead, 1920/2019) hallamos la primera mención de los elementos de la percepción y, además, un análisis de sus interacciones entre sí y con la naturaleza. Así, podemos mencionar el pensamiento y la advertencia sensorial como elementos centrales.³ En primer lugar, Whitehead comienza analizando el rol del pensamiento, teniendo como cometido mostrar que hay algo en nuestra percepción sensorial de la naturaleza que no es, en sí mismo, pensamiento. Es pertinente destacar que este análisis tiene como uno de sus fines mostrar que la naturaleza no es pensamiento.

Lo que es percibido por medio de los sentidos tiene la peculiar característica de ser captado como una entidad que es término de la advertencia sensorial. Es decir, no se halla en el ámbito del pensamiento y está más allá de él, lo cual permite aplicar la definición de autocontención de la naturaleza para con el pensamiento y la advertencia sensorial. Esto implica que hay un cierre de la naturaleza con respecto a la mente, siendo posible describir las relaciones entre los elementos percibidos, y los elementos en sí, sin hacer una referencia a la mente.⁴ A partir de este punto, es posible adentrarse en las características y funciones de cada elemento según presentados en el segundo de los tres libros.

Los elementos, en conjunto, permiten percibir lo hallado en la naturaleza como interrelacionado con el resto de las cosas y con la naturaleza como un todo. En este esquema, el primer paso es realizado por la adver-

3 Cabe destacar que dichos elementos son presentados en torno a un análisis que tiene como fin mostrar la carga metafísica que se encuentra en conceptos como tiempo, espacio y materia. Por ello, no tienen el cometido de ser un análisis exhaustivo de las capacidades de la mente. Así, el autor afirma que no desea que la interpretación de sus pasajes sea que se encuentra “suponiendo que la advertencia sensorial y el pensamiento son las únicas actividades que deben atribuirse a la mente” (Whitehead, 1920/2019, p. 15).

4 Whitehead define con el agregado de homogéneo y heterogéneo a ambos elementos de la percepción. Los heterogéneos involucran considerar la percepción de la naturaleza y sus entidades en conjunción con el hecho de que es percibida, en contraposición a los homogéneos, en los que esto último no es considerado. (Whitehead, 1920/2019)

tencia sensorial, que descubre las cosas en sus relaciones.⁵ Este elemento separa las cosas que emergen en la percepción de sus hechos. El hecho es aquello que es revelado como un todo sucediendo, y los factores aquello que emerge del hecho, convirtiéndose en entidad para el pensamiento.

El segundo paso es realizado por el pensamiento, que logra colocar para la mente las cosas captadas por la advertencia, en el acto de percibir, como objetos desprovistos de sus relaciones. Así, las cosas son “un objetivo para el pensamiento en su propia individualidad desnuda” (Whitehead, 1920/2019, p. 19). Esto implica que al pensamiento se le presenta la entidad desvinculada de todas las relaciones que posee con el resto del complejo de la naturaleza, para luego revestirla nuevamente de relaciones y propiedades en el acto de pensar.

Esto implica que pensamiento y advertencia sensorial pueden ser vistos como elementos que realizan actos opuestos. Por un lado, la advertencia sensorial capta un todo, el hecho, para luego discriminar el factor que emerge por sus relaciones. Por otro lado, el pensamiento recibe lo captado por la advertencia sensorial como una entidad desprovista de todas las relaciones con el complejo, para posteriormente revestirla, según sea pertinente, de relaciones mutuas. Esto permite relacionar la entidad a otras que no estén presentes en el hecho advertido.

Para el autor este es el método necesario de proceder de la mente para poder expresar proposiciones y conceptualizar la naturaleza. Ahora bien, la explicación y delimitación de la percepción sensorial de la naturaleza no sólo tiene como objetivo describir cómo la comprendemos. Dichos elementos tienen un rol central en la obra de Whitehead, permitiendo mostrar específicamente el error de los antiguos filósofos griegos, que permea en las nociones fundamentales en las ciencias naturales.

El proceso que realiza la mente en el acto de pensar al recibir lo captado por la advertencia sensorial, siendo solamente un proceso de traducción discursiva, ha hecho que lo captado sea entendido como una característica fundamental de la naturaleza. Consecuentemente, la materia ha sido transformada en el sustrato metafísico que subyace por debajo de las cosas, recibiendo el estatus de sustancia metafísica en tanto soporte de

5 Whitehead no es claro en *El concepto de naturaleza* (1920/2019) respecto a si advertencia ocurre temporalmente antes que pensamiento. Puede inferirse de algunos pasajes que hay un traspaso desde la advertencia sensorial al pensamiento, ocurriendo primero la advertencia sensorial.

propiedades. En este punto, Whitehead recurre a algunas de las nociones presentes en Aristóteles y Platón, con el fin de mostrar el peso de la herencia de dichos pensadores sobre los conceptos básicos del sentido común. Los mismos, al preguntarse por la composición de la materia, sentaron las bases de presupuestos indiscutidos acerca de las definiciones y conceptualizaciones del espacio, el tiempo y la materia.

Estos conceptos permitieron formar una imagen de la naturaleza según la cual espacio y tiempo son los elementos constitutivos indiscutibles sobre los cuales sucede el curso de la naturaleza, siendo la materia su contenido principal. Esta forma de entender la naturaleza es caracterizada por Whitehead como la doctrina de la materia. Sin embargo, considerando cuáles son las características de los elementos de la percepción, es claro que se le ha adjudicado a la naturaleza algo que es simplemente la forma en la cual la mente logra comprenderla. La materia se transforma en sustrato sólo mediante la aceptación acrítica e infundada de que espacio y tiempo son los pilares constitutivos de la complejidad de la naturaleza. La materia se encuentra ocurriendo al interior del escenario montado por el espacio y el tiempo.

De esta forma se arriba a las bases del problema de la bifurcación; es decir, separar la naturaleza en diversos órdenes, según una naturaleza percibida, y una naturaleza causa de la percepción, escondida tras el velo de lo percibido. En el resto de *El concepto de naturaleza*, Whitehead continúa con su exposición del problema de la bifurcación y las distintas formas que ha tomado a lo largo de la historia. En la siguiente sección se exploran las características de los elementos en la tercera y última obra del periodo de 1918 a 1922.

III. El reporte de la percepción y las características generales de la experiencia

En *The Principle of Relativity with Applications to Physical Science* (1922), Whitehead afirma que su propuesta es una conceptualización alternativa de la teoría de la relatividad. Nuestra experiencia necesita (tanto como demuestra) uniformidad, la cual es exhibida en las relaciones espacio-temporales. Esto es algo que el autor entiende como opuesto a la teoría de la relatividad de 1915 de Einstein, siendo esta caracterizada por la causalidad heterogénea de sus relaciones. En este trabajo no se examinarán las bases

teóricas o consecuencias de la crítica y propuesta de una teoría de la relatividad alternativa por parte de Whitehead, sino el rol que cumplen los elementos de la percepción para llevar a cabo dicho cometido.

En el segundo capítulo de esta obra, la presentación de los elementos de la percepción comienza sin sorpresas, en comparación a *El concepto de naturaleza* (Whitehead, 1920/2019). El hecho es la relación entre factores, y cada uno de estos refiere a sus propias relaciones dentro de un hecho, siendo definido únicamente en base a estas relaciones. Tal es así que cada factor tiene como fondo un hecho, que permite dar cuenta del factor en base a las peculiaridades del hecho en el que se encuentra. Tomar conciencia de los factores en un hecho es, efectivamente, advertirlos: “dicho de otro modo, la advertencia es la toma de conciencia de un hecho como involucrando factores” (Whitehead, 1922, p. 14). El pensamiento es presentado como el acto de hacer que un factor pueda prescindir del hecho en tanto su fondo, dando lugar a concebir la individualidad de un factor. Una vez que un factor ha sido captado desvinculado de su fondo es entendido como una entidad.

Por otra parte, el hecho como un todo no puede ser una entidad para el pensamiento, ya que no posee una individualidad particular en base a la cual pueda hacer referencia a otra cosa más que a sí mismo. A su vez, un hecho no puede ser concebido como la suma de los factores que contiene, sino como el lugar en el cual se halla la integración de factores junto a la inagotable interrelación de los mismos.

Sin embargo, podemos comenzar a notar algunos cambios con respecto a *El concepto de naturaleza* (Whitehead, 1920/2019). Por ejemplo, en esta obra se halla un orden claro de los elementos, en tanto Whitehead afirma que el pensamiento presupone la advertencia sensorial en tanto es limitado por la misma, lo cual permite definir el pensamiento como una advertencia refinada. Esta descripción considera la advertencia de las relaciones dadas entre los factores como internas; en contraste, las relaciones entre entidades son externas para el pensamiento. Sin embargo, son todas expresiones de una misma naturaleza:

“La finitud de la conciencia, la factorización del hecho, la individualización de las entidades en el pensamiento, y la oposición entre abstracto y concreto son todas exhibiciones de la misma verdad, la existencia de la limitación dentro de un hecho.” (Whitehead, 1922, p. 15)

Whitehead amplía lo característico de los reportes de los elementos de la percepción, en tanto permite ver los límites de lo abstracto y lo concreto. Lo primero es una limitación dentro de lo segundo, siendo la entidad delimitada dentro de una totalidad y el factor delimitado dentro de un hecho. La percepción individual de una persona limita el hecho como uno en tanto aprehendido por la percepción.

Otros cambios involucran la definición de objetos sensoriales, factores para la advertencia que requieren ser concebidos según sus relaciones, como pueden ser los colores, los olores o los sonidos. La forma en que estos objetos son conectados con otros, en un mismo hecho, demuestra que la advertencia de un evento involucra la aprehensión de características que lo individualizan. La individualidad puede extenderse, en tanto cada evento trae consigo algo que lo individualiza. Sin embargo, esta característica, definida por Whitehead como el adjetivo del evento⁶, no es revelada en la advertencia inmediata del mundo.

Ahora bien, ¿qué espera mostrar Whitehead reintroduciendo los elementos de la percepción? En particular, busca dejar en claro que cada factor se encuentra limitado en el marco de la totalidad del hecho, y necesariamente debe referirse a otros factores. Esto implica que no es posible hallar ninguna entidad del pensamiento que no tenga como dato, en su advertencia, su relación con otras entidades. Es en esa entrega de datos que es posible captar las características que constituyen la estructura de los factores dentro de un hecho. Como hemos visto, esto conlleva definir una serie de eventos, acontecimientos y adjetivos. En tanto es posible comprender la existencia de dicha estructura, Whitehead considera evidente que hay una cierta uniformidad en las relaciones que la ordenan.

El análisis exhaustivo de lo entregado por los elementos de la percepción sensorial es uno de los puntos centrales de su crítica a la teoría de la relatividad. Que una de las tres partes de su libro de 1922 sea dedicada a este asunto puede considerarse evidencia suficiente de esto.

⁶ La importancia de la definición de adjetivo en el marco de la filosofía whiteheadiana se hace clara al considerar que la materia es definida como un adjetivo de los eventos cuatridimensionales. Son uno de los tantos adjetivos que modifican los eventos, cuya esencia radica en su relacionalidad. (Tanka, 1983)

VI. Conclusión

En este trabajo el objetivo fue mostrar que los elementos de la percepción de la naturaleza juegan un papel fundamental en la argumentación de Whitehead. Así, se expuso en la primera sección cómo la entrega de estos fue erróneamente interpretada, dando lugar a la doctrina de la materia, núcleo del problema de la bifurcación (Whitehead, 1920/2019). En la segunda sección, el objetivo fue prestar atención a la forma en la cual Whitehead reintroduce dichos elementos para lograr comprender el rol que poseen en su crítica a la teoría de la relatividad de Einstein. En particular, los elementos de la percepción permiten comprender el carácter unificador y uniforme de la estructura relacional de la naturaleza (Whitehead, 1922).

Una forma de aproximarse a la propuesta positiva de Whitehead es analizar hasta qué punto la teoría de la relatividad de Einstein incurre en definir la naturaleza como heterogénea según la carga metafísica y los presupuestos aceptados de conceptos como espacio, tiempo y materia.⁷ La gran apuesta del filósofo y matemático inglés es que la naturaleza se presenta como una totalidad, compuesta por partes, cuyos elementos deben hallarse en un tiempo y en un lugar, siendo cada ocurrencia espacio-temporal un evento. En otras palabras, la naturaleza se presenta a sí misma como una sucesión de eventos que forman una estructura sistemática, la cual debe poseer relaciones de uniformidad para tener sentido según la experiencia. Cómo sea conceptualizada la abstracción del espacio-tiempo depende de prestar atención a lo reportado por la experiencia en la advertencia sensorial. Eso, no sin antes analizar de forma crítica lo presupuesto acerca de las nociones de tiempo, espacio y materia. Como Whitehead afirma, partiendo de su análisis –y considerando incluso los mismos elementos– es fácil incurrir nuevamente en el error de bifurcar la naturaleza en dos órdenes, ignorando la uniformidad de la misma (Whitehead, 1920/2019).

7 Si bien las limitaciones de este trabajo no permiten explorar en profundidad estos aspectos, es posible concluir que la uniformidad de la naturaleza, presentada como una relación simple de dos términos, es la característica central de la estructura que conforman la sucesión de eventos en la naturaleza según Whitehead (Whitehead, 1922).

En base a su obra dedicada por completo a la teoría de la relatividad, es claro que la insatisfacción de Whitehead para con la tesis de Einstein tiene su raíz en la concepción que le adjudica a este último de materia. En línea con el diagnóstico de una carga metafísica inadvertida en los conceptos de materia, tiempo y espacio, Whitehead considera que las determinaciones espacio-temporales no deberían ser separadas de la experiencia perceptual en base a la configuración de la materia.

Es posible aventurarse a afirmar que uno de los errores adjudicados a Einstein por parte de Whitehead es el haber asumido que la interpretación lógica-matemática de una fórmula es suficiente para comprender la naturaleza (Whitehead, 1922). Si los símbolos que conforman una fórmula no son analizados críticamente, nada asegura que estos tengan una relación inmediata con los hechos observados en la percepción. Por este motivo, Whitehead considera que la física debe tener como punto de partida las características generales de lo observado y el discernimiento de los presupuestos metafísicos involucrados en la definición de nuestra propia percepción. En última instancia, la teoría de la relatividad de Whitehead tiene como interés último estar intuitivamente alineada con la experiencia humana del mundo.

Referencias

- Desmet, R. (2009). "Whitehead: Relativity and Experience." *Concrescence - The Australian Journal of Process Thought*, 10, pp. 3-9.
- Fowler, D. R. (1975). "Whitehead's Theory of Relativity (and how it differs from Einstein's)." *Process Studies*, 5(3), pp. 159-174.
- Neidorf, R. A. (1959). *Bifurcation and Events: A Study in Einstein, Russell and Whitehead*. Yale University.
- Stolz, J. (1994). "The Idea of Structureless Points and Whitehead's Critique of Einstein." En D. Prawitz & D. Westerståhl (Eds.), *Logic and Philosophy of Science in Uppsala: Papers from the 9th International Congress of Logic, Methodology and Philosophy of Science* (pp. 325-332). Springer Netherlands.



Whitehead, A. N. (1922). *The Principle of Relativity: With Applications to Physical Science*. Dover Publications.

Whitehead, A. N. (2019). *El concepto de naturaleza* (S. Puente, Trad.). Cactus. (Obra original publicada en 1920)

Tanaka, Y. (1983). "Einstein and Whitehead: The Principle of Relativity Reconsidered." *Historia Scientiarum*, 32(3), pp. 43-61.



Evolución del empleo de la técnica fotográfica en el Observatorio Nacional Argentino

Santiago Paolantonio*

Resumen

A lo largo de su más de un siglo y medio de vida, en el Observatorio Nacional Argentino, hoy Observatorio Astronómico de la Universidad Nacional de Córdoba, se empleó la técnica fotográfica para los estudios astronómicos. A lo largo de este tiempo se pueden distinguir tres períodos bien definidos, que se describen en el presente texto, Los inicios, con el trabajo pionero de la Fotografías Cordobesas, un segundo período que se caracteriza principalmente por la compra de instrumentos para la abstención de las fotografías y su estudio, y un último período en que el método se hace prácticamente excluyente para las numerosas investigaciones e importantes que se realizan y que tuvieron significativos impactos en la ciencia astronómica.

Palabras clave: Fotografía astronómica, instrumentos astronómicos, Historia de la Astronomía. Historia de la Astronomía, Historia del Observatorio Astronómico de Córdoba.

Abstract

Throughout its more than a century and a half of existence, the Argentine National Observatory, today the Astronomical Observatory of the National University of Córdoba, used the photographic technique for astronomical studies. Throughout this time, three well-defined periods can be distinguished, which are described in this text: The beginnings, with the pioneering work of Fotografías Cordobesas, a second period that is mainly characterized by the purchase of instruments for the abstention of photographs and their study, and a final period in which the method became

* Museo del Observatorio Astronómico de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC), Argentina.

practically exclusive for the numerous and important investigations that were carried out and that had significant impacts on astronomical science.

Keywords: Astronomical photography, Astronomical instruments, History of Astronomy, History of the Astronomical Observatory of Córdoba.

I. Introducción

El Observatorio Nacional Argentino se fundó en 1871 en la ciudad de Córdoba, República Argentina. Fue la primera institución científica del país dedicada a esta disciplina y su propósito fundamental se centró en la determinación de posiciones de las estrellas australes, una necesidad acuciante para los astrónomos de la época (Chaudet, 1926, Milone, 1979 y Paolantonio y Minniti, 2001).

Si bien las mediciones se realizarían empleando un telescopio círculo meridiano, entre los objetivos propuestos se incluyó la realización de mediciones de posiciones de estrellas de cúmulos abiertos australes empleando la entonces novísima técnica fotográfica¹ (Gould, 1871 y Paolantonio y Minniti, 2001).



Figura 1. Edificio del Observatorio Nacional Argentino aproximadamente en 1873. Vista noreste. El Gran Ecuatorial se encontraba instalado en la cúpula mayor ubicada a la derecha en la fotografía (Archivo OAC).

¹ El propósito de esta investigación era la determinación de la paralaje de las estrellas, luego de repetir las fotografías y realizar nuevas mediciones pasado un tiempo suficiente.

El fijar en una placa de vidrio las imágenes de muchas estrellas en un pequeño intervalo, para luego disponer el registro en forma permanente para su medición precisa en cualquier momento y tantas veces como se quisiera, era una ventaja sumamente tentadora, en contraposición con las lentas, aunque más precisas, mediciones meridianas.

En la década de 1870, la fotografía astronómica se hallaba en sus comienzos y no muchos observatorios dedicaban tiempo a esta actividad. Las pocas imágenes obtenidas desde la primera realizada de la Luna, por John W. Draper en 1840, resultaban de relativa utilidad científica.

Esta situación cambiaría con la invención de la emulsión colodión, de mayor sensibilidad, la que permitía la aplicación de la fotografía a un gran número de investigaciones astronómicas. Sin embargo, el empleo de esta técnica se encontraba aún limitada por la óptica de los instrumentos empleados, que no daban buenas imágenes. Las emulsiones fotográficas eran principalmente sensibles en la zona azul-violeta del espectro, mientras que los telescopios refractores de la época destinados a las observaciones visuales se encontraban optimizados (mínimas aberraciones) en la región del amarillo.

II. Período 1870–1885. Los inicios

Lewis Rutherfurd, un adinerado aficionado neoyorkino, interesado en la fotografía celeste, logró desarrollar una técnica adecuada para la fabricación de un objetivo refractor corregido en la región azul-violeta del espectro. Logró elaboraren 1864, con la guía del reconocido óptico Henry Fitz, un doblete de 11¼ pulgadas (28,6 centímetros) de diámetro, que funcionó excelentemente y posibilitó en gran medida el inicio del desarrollo de la fotografía astronómica (Rutherfurd, 1865).

Rutherfurd obtuvo fotografías de diversos objetos celestes, incluidas impactantes imágenes de la Luna que se hicieron muy reconocidas. Sin embargo, las de mayor importancia desde el punto de vista científico, fueron las fotografías de los cúmulos estelares Pesebre y Pléyades, logradas en febrero de 1865 y febrero y abril de 1867. Con el propósito de obtener las coordenadas de las estrellas registradas en estas placas, Rutherfurd las midió con un “micrómetro”, aparato de su propio diseño. Realizado el trabajo, quedaban los complejos cálculos matemáticos necesarios para convertir los datos logrados en los deseados valores de coordenadas, para lo

cual pidió colaboración a un astrónomo amigo, el Dr. Benjamin A. Gould. Los resultados de este estudio fueron presentados en la National Academy of Sciences en agosto de 1866 y en abril de 1870 (Gould, 1870 y Paolantonio y Minniti, 2001).

A partir de este trabajo, Gould adquirió experiencia en medición y análisis de placas fotográficas, y se convenció de sus grandes posibilidades para la Astronomía, en particular en la medición de posiciones estelares, que era de su especial interés.

Contemporáneamente, Gould fue contratado como director fundador del Observatorio Nacional Argentino. La mencionada inclusión de trabajos con cúmulos estelares australes empleando la fotografía se explica por lo comentado en los párrafos anteriores, sin dudas el nuevo director ve una gran oportunidad para ser pionero en este tipo de los estudios, en particular en el hemisferio sur (Minniti y Paolantonio, 2009).



Figura 2. Histórica fotografía de la Luna realizada en 1865, obsequiada por L. Rutherford al Dr. Gould, perteneciente a la colección del Museo Astronómico del Observatorio de Córdoba (Archio OAC, El Autor).

Esta línea de investigación pudo concretarse gracias a que el observatorio argentino adquirió el probado objetivo fotográfico de Rutherford², para el cual se encargó una montura específica a los reconocidos instrumentistas Alvan Clark e Hijos. Este telescopio, instalado en Córdoba, se lo denominó “Gran Ecuatorial” (Paolantonio, 2005).



Figura 3. Objetivo con el que se realizaron las Fotografías Cordobesas entre 1872 y 1882, fabricado por Rutherford en 1864 y comprado por el Observatorio Nacional Argentino en 1871. Se trata de una pieza única, de las más valiosas de la colección del Museo del Observatorio Astronómico de Córdoba (Archivo Museo OAC, El Autor).

Como director del observatorio cordobés, Gould justificó los gastos en la compra de estos costosos elementos sosteniendo que el trabajo con la fotografía se llevaría a cabo “con cien veces menor inversión de tiempo”

2 En realidad, eran dos objetivos gemelos, uno destinado a la fotografía y otro a la observación visual, los que eran intercambiables en la nueva montura, los cuales en la actualidad se encuentran resguardados en el Museo del Observatorio Astronómico de Córdoba.

respecto a lo realizado con el círculo meridiano (Gould, 1874)³: “Así puede conseguirse en una sola noche los datos que de otra manera apenas se conseguirían en un año; efectuándose la obra de observación instrumental en los tiempos, las circunstancias y condiciones cómodas...” (Gould B., Informe al Ministro 1881).

Para estas tareas se utilizaron placas húmedas de colodión preparadas en el mismo observatorio, cuya emulsión era depositada sobre placas de vidrio de aproximadamente 10,5 x 13,5 centímetros. Las placas debían ser expuesta antes de que se secaran, lo que limitaba mucho el tiempo de exposición y obligó a ubicar el laboratorio muy cerca del telescopio. Estas emulsiones implicaban la manipulación de peligrosos químicos, de modo que su elaboración estaba limitada a profesionales con entrenamiento. En 1882 se adquirieron algunas placas de emulsión seca, de mayor sensibilidad y sencillo uso, que dieron mejores resultados, sin embargo, no se generalizó su utilización por cuestiones de costo y de las grandes dificultades que se enfrentaron para su adquisición (Gould, 1897 y Paolantonio, 2022).

Se realizaron exposiciones que implicaban un total de unos 20 minutos, limitadas por la humedad ambiente, alcanzándose las magnitudes estelares entre 9 y 12. Las tomas consistían en dos exposiciones de 8 minutos, se obtenía la primera y luego se movía el telescopio en ascensión recta, por medio de un mecanismo especial. Las dobles imágenes formadas permitían distinguir las estrellas de manchas casuales, ocasionadas por descargas electrostáticas con el respaldo o por polvo. También hacía posible medir cada estrella dos veces, aumentando de este modo la exactitud. Similar método se empleó luego en otras obras como el Catálogo Astrográfico. Una tercera exposición de corta duración, para que se imprimieran solo las estrellas más brillantes, se realizaba luego de desengranar el telescopio un tiempo suficiente. De este modo se obtenía un trazo que marcaba la dirección este-oeste. Si las estrellas eran demasiado débiles para dejar una marca, se efectuaba una tercera exposición de menor duración, luego de dejar el telescopio sin movimiento de relojería por un tiempo determinado. Cada placa abarcaba un sector del cielo de unos 80 x 100 minutos de arco por lado (Gould, 1897).

3 Años más tarde reafirma estas ideas a pesar que encontraría grandes dificultades para obtener las placas necesarias y en su posterior medición.



Figura 4. Fotografía del cúmulo estelar abierto Pléyades, obtenida el 26 de diciembre de 1872 por Carl Schultz Sellack con el Gran Ecuatorial del Observatorio Nacional Argentino. Se realizaron dos exposiciones de 8 minutos. En su momento, durante la inspección de la placa, se marcó con una “x” un punto que no es una estrella dado que no tiene doble imagen. En la mayoría de las placas se pueden ver en su periferia, defectos o desprendimientos de la emulsión, que en la imagen mostrada se aprecia en el ángulo inferior izquierdo (Parcial, Gentileza Harvard College Observatory, Photographic Glass Plate Collection).



Figura 5. Una de las primeras fotografías de la Luna, realizada en el Observatorio Nacional Argentino por el fotógrafo Carl Schultz Sellack, el 6 de noviembre de 1872 (Parcial, Gentileza Harvard College Observatory, Photographic Glass Plate Collection).

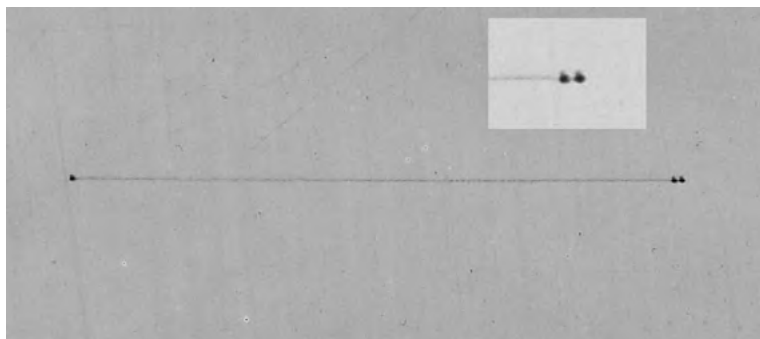


Figura 6. Detalle de la fotografía obtenida el 24 de abril de 1881 de la estrella doble Alfa Centauri, por Edwin C. Thompson, en la que se puede apreciar su estrella compañera. Se realizaron dos exposiciones de 10 segundos, luego se liberó el sistema de seguimiento durante dos minutos para que la estrella deje un trazo, con el que se fijaba la posición este-oeste, y al final se efectuó una exposición de 5 segundos (Parcial, Gentileza Harvard College Observatory, Photographic Glass Plate Collection).

A lo largo de 15 años se obtuvieron un millares y medio de placas de cúmulos estelares, estrellas dobles, planetas y estrellas individuales⁴, además de la Luna, estas últimas empleadas principalmente para promocionar el accionar de la institución (Paolantonio, 2020)⁵.

4 Estas tomas se realizaron para intentar determinar la paralaje de las estrellas (Gould, 1897).

5 La lista completa de placas realizadas, con excepción de las de la Luna y de los planetas, se encuentran en el volumen 19 de los Resultados del Observatorio Nacional Argentino, en las tablas de las páginas 11 a 31, que totalizan 1208 placas (Gould, 1897).

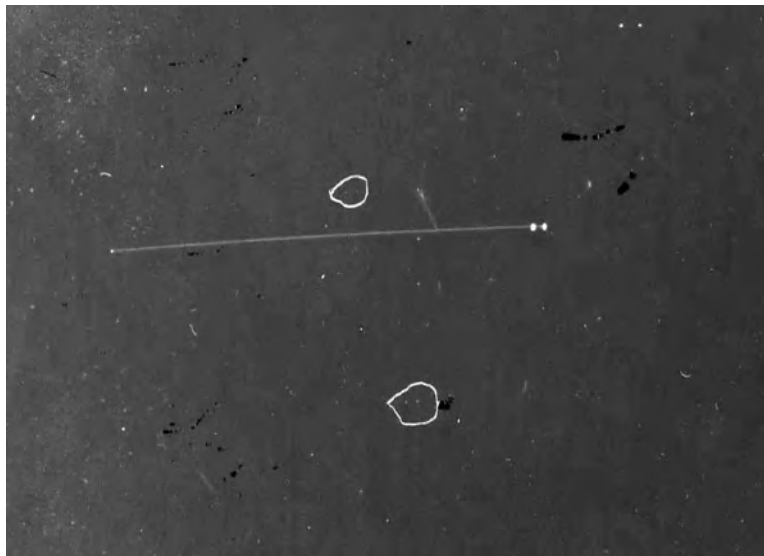


Figura 7. Detalle de la placa de β Hydri lograda el 5 de octubre de 1876 por John A. Heard. Con un círculo están marcadas las estrellas que se midieron durante el trabajo de las Fotografías Cordobesas (Parcial, Gentileza College Observatory, Photographic Glass Plate Collection).

Del total de placas disponibles se logró medir 281 placas, contabilizándose 11.000 estrellas diferentes en 37 cúmulos estelares. Si bien las tomas fotográficas terminaron en 1882, las laboriosas mediciones se prolongaron por muchos años. Al renunciar Gould a la dirección del Observatorio, solo unas pocas se habían estudiado, por lo que elastrónomopidió el permiso del Gobierno Nacional para llevarlas a EE.UU. para finalizar el trabajo. La propuesta fue autorizada y se giró mensualmente un sueldo para pagar a un medidor, mientras que los cálculos y la escritura del volumen estuvieron a cargo de Gould ayudado por su secretario George E. Whitaker (Paolantonio y Minniti, 2001 y Paolantonio 2022).

Lamentablemente el Dr. Gould fallece en un accidente a fines de 1886, cuando el trabajo estaba básicamente terminado. Al año siguiente, en 1887, se publican los resultados bajo el nombre “Fotografías Cordobesas”, que constituye el volumen 19 de la serie Resultados del Observatorio Na-

cional Argentino, edición financiada por el Gobierno Nacional (Gould, 1897 y Minniti y Paolantonio, 2009). Este trabajo se constituye en uno de los primeros (sino el primero) sistemáticos realizados en astronomía empleando esta técnica.

I. Pleiades.

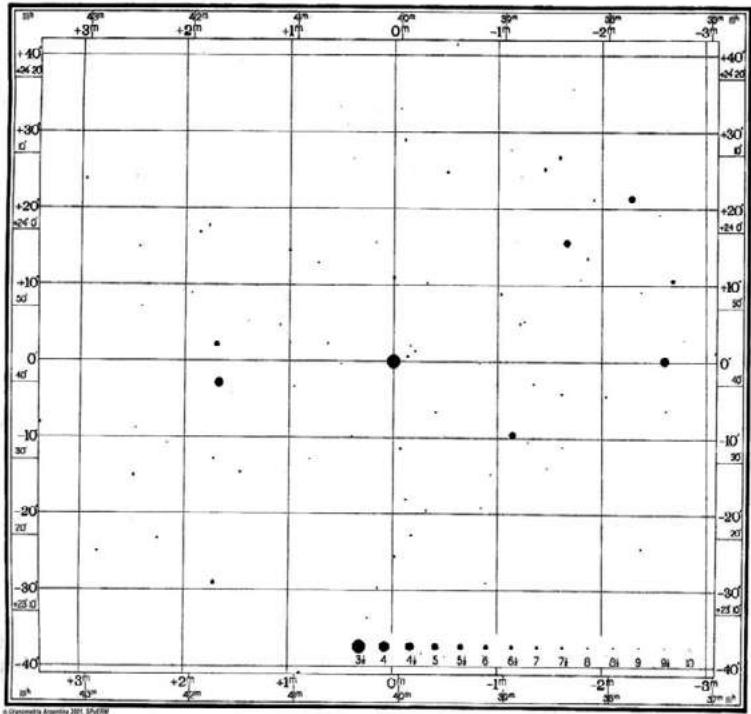


Figura 9. En las Fotografías Cordobesas (Resultados del Observatorio Nacional Argentino, Vol. 19) se resolvió publicar mapas dibujados de acuerdo a los valores medidos de las posiciones estelares y no reproducciones directas de las fotografías, teniendo en cuenta que las exposiciones eran dobles y las placas tenían diversos defectos. La figura muestra el mapa del cúmulo Pléyades (Gould, 1897).

Desgraciadamente las valiosas placas permanecieron olvidadas en Estados Unidos, depositadas en la Universidad de Harvard, quedando pendiente su devolución.

En este período, 1871-1885, las Fotografías Cordobesas fue el único trabajo de este tipo llevado adelante en la institución, quedando parte del mismo sin medir, tanto de las placas de cúmulos como de las estrellas dobles, mientras que las numerosas tomas de las estrellas destinadas a la determinación de paralaje no resultaron de utilidad⁶.

En esta etapa, los fotógrafos que llevaron adelante el trabajo fueron contratados a término, el primero fue el Dr. Carl Schultz Sellack que trabajó entre julio de 1872 y febrero de 1874, le siguieron John A. Heard entre mayo de 1875 y finales de 1876, y Edwin C. Thompson entre mayo de 1881 y agosto de 1882. El personal permanente contribuyó en menor medida en los intervalos en que no se contaba con fotógrafo contratado, fueron Samuel W. Thome en 1876 y Frank Bigelow y Chalmers Stevens en 1882 (finalizan en noviembre de ese año) (Gould, 1897 y Paolantonio y Minniti, 2001).

El histórico objetivo fotográfico⁷, se encuentra resguardado en el Museo del Observatorio Astronómico de la Universidad Nacional de Córdoba, mientras que se desconoce el destino que tuvo la montura Alvan Clark (Paolantonio, 2022b).

III. Período 1885-1902. Adquisición de instrumentos

Desde fines de 1883 el Observatorio Nacional ya no estuvo solo en Argentina, ese año se inauguró el Observatorio Astronómico de La Plata, entonces bajo la órbita del gobierno de la provincia de Buenos Aires, dirigido por el Teniente de Navío retirado francés François Beuf (Gershanik, 1979).

6 Fotografías Cordobesas implicó la invención de diversas técnicas (algunas exitosas y otras no) para poder concretarlas, además de la intervención reiterada en el sistema de seguimiento del telescopio Alvan Clark que adolecía de irregular en su marcha y no era adecuado para este tipo de trabajos.

7 Durante el transporte desde EE.UU. la lente de Flint se partió en dos, por lo que tuvo que ser repuesta, trabajo realizado por el mismo Lewis Rutherford y el óptico Henry Fitz. Sobre las características de este objetivo puede consultarse Paolantonio 2022b.

A diferencia del observatorio cordobés, que contó con el apoyo de instituciones norteamericanas y estaba dirigido por astrónomos de esa nacionalidad, y cuyas líneas de investigación seguían las dictadas por la astronomía alemana, la nueva institución tuvo el apoyo del Observatorio de París, en ese momento dirigido por el Contra Almirante Ernest Mouchez y siguió sus líneas de investigación.

Desde un inicio, la relación entre los directores, Gould y Beuf fue muy mala, por razones de personalidad y profesionales, y tal vez también por cuestiones de nacionalidad, por lo que los observatorios desarrollaron sus actividades en forma totalmente independiente⁸.

Para ese momento las emulsiones secas se estaban imponiendo dada su mayor sensibilidad y facilidad de uso. Cuando a fines de 1882 apareció en los cielos del sur el brillante cometa “Gran Septiembre”, descubierto en Córdoba, el director del observatorio de Sudáfrica, David Gill, logró seguirlo fotográficamente. Este astrónomo envió copias de las excelentes fotografías obtenidas, a varios de sus colegas, entre ellos al director del Observatorio de París. Mouchez quedó impresionado por la calidad del registro, en el que se podía apreciar un gran número de estrellas de fondo, y advirtió las potencialidades del método para la confección de cartas celestes. Solicitó a los ópticos del observatorio, los hermanos Prosper y Paul Henry, la construcción de un objetivo fotográfico. Éstos fabricaron uno de 16 centímetros de diámetro, con los que se obtuvieron buenos resultados. Alentado por el éxito alcanzado, se encargó la construcción de un telescopio específicamente fotográfico con un objetivo de mayor tamaño, de 33 cm de abertura y 343 cm de distancia focal. La parte mecánica fue pedida al constructor de instrumentos parisino Paul Ferdinand Gautier. Al instrumento se lo conoce como “Astrográfico” Gautier (correspondería Gautier-Henry) (Chinnici, 2008).

Siendo los resultados tan prometedores, en 1886, Mouchez propuso realizar un mapeo fotográfico de todo el cielo a gran escala y profundidad, empleando este tipo de instrumentos. La idea de utilizar la fotografía para mapear la bóveda celeste había sido sugerida en 1857 por el astrónomo Warren de la Rue del Observatorio Kew de Inglaterra, la que fue poste-

8 El abordaje de las razones de estas diferencias excede el objetivo de este escrito. Gould tampoco tuvo una buena relación con el director del observatorio parisino. Un detallado análisis sobre este tema puede consultarse en Minniti y Paolantonio 2024.

riormente retomada en 1882 por Edward Pickering de Harvard. Mouchez consideró que había llegado la hora de concretar estas ideas (Minniti y Paolantonio, 2009).

El Observatorio de París y la Academia de Ciencias francesa organizaron un congreso en 1887 para proponer y coordinar la propuesta de una “*Carte du Ciel*” a distintos observatorios, dado que la idea solo podría concretarse con la ayuda de instituciones repartidas estratégicamente en todo el mundo.

El problema fue el hemisferio sur, debido a la escases de observatorios, de Sudamérica fueron invitados los observatorios de Río de Janeiro, Santiago de Chile y La Plata. En un primer momento no se consideró al de Córdoba (¡el único con experiencia en fotografía!), pero por cuestiones relacionales y a pedido de Beuf finalmente se lo incluyó en la lista de invitados (Chinnici 1999, Minniti y Paolantonio, 2009).

En 1885 el Dr. Gould regresa a EE.UU., y había sido reemplazado en la dirección del Observatorio por su discípulo, John Macon Thome.

En 1886 se había autorizado al observatorio de La Plata la compra en París de un refractor de 6 pulgadas, el que fue reemplazo por un Astrográfico que se esperaba utilizar en la confección de la *Carte du Ciel*, sin dudas la decisión de participar en el emprendimiento estaba tomada⁹ (Gershanik, 1979).

Mientras esto ocurría, en una nota periodística, Mouchez realiza fuertes críticas al Observatorio Nacional y declaraciones a favor de la institución platense, lo que generó un gran malestar en Córdoba y una respuesta severa de parte de Thome, el que interpretó lo dicho como un ataque directo a su maestro, llegando a tratar al director francés de “astrónomo poco notable y arrogante” (Minniti y Paolantonio, 2009).

Cuando Thome recibe la invitación al congreso de París, consultó a Gould sobre la conveniencia de participar del proyecto, recibiendo una respuesta contundente, el ex director expresó que se trataría de una pérdida de tiempo, por lo que el convite fue declinado y el Observatorio Nacional no estuvo presente en el ahora famoso Congreso de 1887 (Correspondencia Thome al Ministro F. Posse 10/3/1887).

9 El refugio del telescopio fue terminado en 1889 y el instrumento llega al año siguiente. Sin embargo, el trabajo aún no había comenzado en 1891, ni se tenía fecha para el inicio de los mismos (*Carte Photographique du Ciel* 1896).

Sin embargo, resulta evidente que Thome consideraba importante que la institución no quedara atrás en lo relacionado a las investigaciones astronómicas fotográficas. Por esta razón, propuso al Ministerio la compra de una montura de telescopio para utilizarla exclusivamente con el objetivo fotográfico existente, constituyéndose de este modo en un “astrográfico” análogo al francés. En 1888 se obtienen los fondos necesarios (Correspondencia Thome al Ministro Posse, 24/02/1888, Copiador C, p.247) para la compra de una montura a la firma Warner & Swasey de Cleveland, EE.UU., la que llegó a Córdoba a principios de 1890 (Updegraff, 1890). Desde ese momento el objetivo fotográfico se ubicó en la nueva montura, mientras que el visual quedó fijo en la vieja. De este modo el observatorio dispuso de su primer telescopio exclusivamente dedicado a la fotografía.

Contemporáneamente, Thome planificó una investigación de la distribución de las estrellas en la zona de la Vía Láctea utilizando la fotografía, un proyecto similar al que años antes había iniciado el Observatorio de París. Dado que el telescopio existente no resultaba adecuado para este fin, debido a su reducido campo de visión, se encargó una astrocámara de gran campo al reconocido óptico John A. Brashear¹⁰ cuyos talleres estaban en la ciudad de Pittsburgh, EE.UU.. La cámara contaba con un objetivo diseño Petzval de 5 pulgadas (125 mm) de diámetro y una distancia focal de solo 63 cm, sumamente luminosa y de gran ángulo, ideal para el trabajo a realizar. Utilizaba grandes placas de 18 x 24 cm, la zona expuesta resultaba ser un círculo que equivalía a unos 16° en el cielo. No se ha ubicado documentación en la que se indique la fecha de llegada al Observatorio, sin embargo, dado que en los archivos se encuentran placas fotográficas obtenidas en junio de 1893, se estima que la cámara arribó a la ciudad de Córdoba durante la primera mitad de ese año. Lamentablemente las imágenes formadas por el instrumento no eran buenas, contaban con fuertes aberraciones en la periferia del campo de visión, por lo que no pudo ser empleada para el fin para la que había sido adquirida (Paolantonio, 2013).

10 La montura fue realizada por George N. Saegmüller, razón por la cual la cámara es denominada Saegmüller – Brashear.

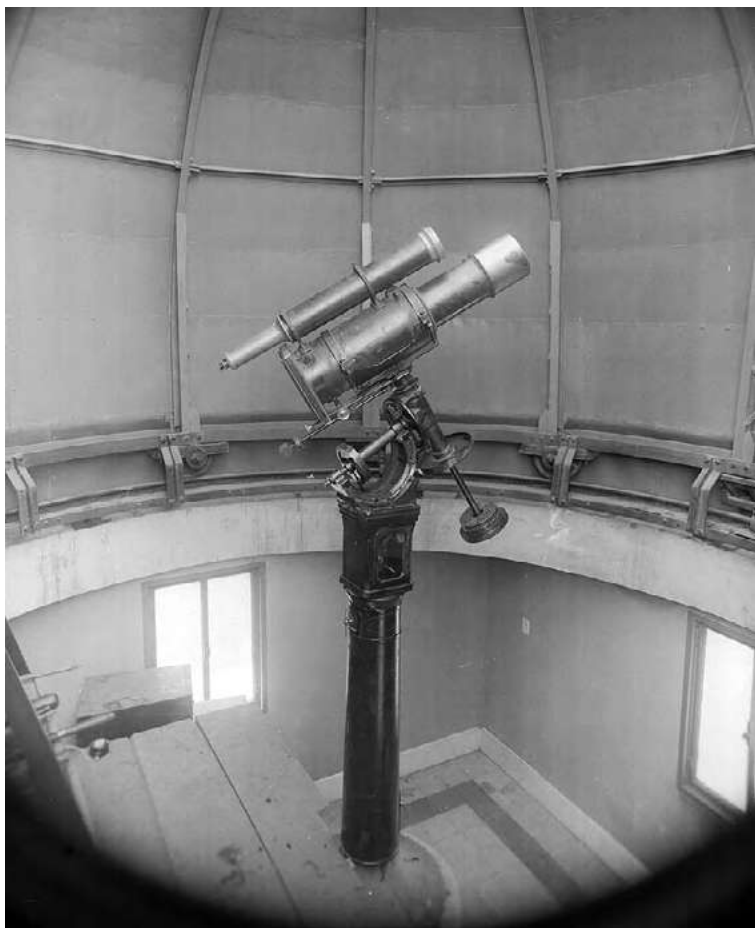


Figura 10. Astrocámara Saegmüller- Brashear del Observatorio Nacional Argentino. Fotografía tomada el 24 de mayo de 1931, época en que estaba ubicada en la cúpula de sureste de la actual sede de la institución (Archivo OAC).



Figura 11. Astrocámara fabricada por Hans Heele de Berlín del Observatorio Nacional Argentino, aproximadamente en 1938. (Archivo OAC).

De este período se cuenta con muy pocas placas y no hay referencia sobre trabajos realizados y publicados con estos instrumentos, los que recién serían utilizados intensamente años más tarde. En esta época también se encargó otra cámara, a la empresa Hans Heele de Berlín¹¹, que se destinaba al seguimiento del cometa Halley en su retorno de 1910 (Paolantonio, 2013b).

A fines del siglo XIX ninguno de los observatorios sudamericanos había podido avanzar con el programa del Catálogo Astrográfico y la Carta del Cielo. Fallecidos Gould y Mouchez, y luego de un pedido expreso del Comité Organizador del proyecto, Thome reconsideró participar del mismo, consiguiendo la autorización del Gobierno Nacional, para comprometerse en realizar la zona que le correspondía al observatorio de La Plata. Thome concurre a la reunión de 1900 realizada en París y compra

11 Empresa fundada en 1875, tenía domicilio en Grüner Weg 104 en la ciudad de Berlín, y se especializaban en la fabricación de instrumentos científicos en general, polarizadores, espectroscopios, fotómetros, etc. En particular realizaron monturas de aparatos astronómicos. En 1923 la empresa fue comprada por Carl Bamberg.

el Astrográfico necesario, el que es puesto en funciones en 1902. También se adquieren varias docenas de placas, de emulsión seca y de 16 x 16 cm de dimensiones, la mayoría fabricadas por Lumiere, y que fueron empleadas en la institución también para otros programas a lo largo de varias décadas (Minniti y Paolantonio, 2009)¹².



Figura 12. El Astrográfico instalado en la cúpula de la vieja sede del Observatorio Nacional Argentino, fotografía tomada el 12 de noviembre de 1912. En posición de observación se encuentra el fotógrafo Roberto Winter, uno de los tres primeros contratados para el trabajo del Catálogo Astrográfico y la Carta del Cielo, quien obtuvo la mayor parte de las placas fotográficas (Archivo OAC).

Contemporáneamente, se crean por primera en la estructura de personal del Observatorio vez los puestos de “fotógrafos”, contratándose tres, al argentino Roberto Van Dyte, y los ingleses nacionalizados Frederick Percy Symonds y Robert Winter, los cuales se encargarían de realizarlos varios cientos de placas necesarias para cumplir con el proyecto francés. Mientras que Van Dyte deja la institución luego de unos pocos años para establecer un negocio fotográfico propio, Symonds y Winter permanecen

¹² Hoy se encuentra conservadas y depositadas en Biblioteca del Observatorio Astronómico Córdoba varios miles de placas obtenidas a lo largo de los años, que constituye un patrimonio científico invaluable.

hasta sus respectivas jubilaciones, realizando numerosos y variados trabajos. También se contratan varias “medidoras”, personal femenino que se dedicó a medir los varios cientos de placas correspondientes al Catálogo Astrográfico (Perrine, 1925 y Minniti y Paolantonio, 2009).



Figura 13. Una de las cinco máquinas de medir placas fotográficas que se emplearon en el Observatorio Nacional Argentino para el Catálogo Astrográfico. Adquirida por el Dr. M. Thome a Repsold, comenzó a usarse en 1910 (Archivo OAC).

En resumen, este período se destaca por la compra de los instrumentos específicos para los trabajos fotográficos, la creación de los puestos de fotógrafos y el inicio de los trabajos para el Catálogo Astrográfico y la Carta del Cielo, el que en su mayor parte fue terminado en el período siguiente.

IV. Período 1902-1938. La adopción definitiva

En septiembre de 1908 fallece imprevistamente el director Dr. John M. Thome, y a mediados de 1909 asume en su reemplazo el Dr. Charles D. Perrine, el último de los directores nacidos en Norteamérica¹³.

Perrine, proveniente del Observatorio Lick, introdujo nuevas líneas de investigación, tales como la astrofísica, el seguimiento de cometas y

¹³ Sobre este período de transición puede leerse Paolantonio 2011.

asteroides y el estudio de eclipses totales de Sol. Pero sin dudas, se destaca por la generalización del empleo de la fotografía, tanto directa, como para realizar trabajos fotométricos y espectroscópicos.

En este período se emplearon los instrumentos existentes, muchos de los cuales fueron perfeccionados, incluido el Astrográfico¹⁴. Se diseñaron y fabricaron otros nuevos, en particular un gran telescopio reflector de 76 cm de abertura específico para su utilización con fotografía en foco directo, todo un logro de la ciencia y tecnología nacional (Paolantonio, 2010). Paralelamente, en 1909 se gestionó y posteriormente compró un telescopio de 1,5 metros de diámetro, igual al más grande existente en esa época, el que a pesar de que no se logró terminar para 1936, año de la jubilación del Dr. Perrine, posteriormente sería clave para el desarrollo de la astrofísica argentina. Este instrumento fue pensado principalmente para su utilización con la fotografía (Informe C. D. Perrine al Ministro Año 1909 y Minniti y Paolantonio, 2009).

El seguimiento del cometa Halley en su paso de 1910 demandó una atención casi exclusiva entre fines de 1909 y a lo largo de 1910. Se realizaron fotografías directas para el estudio de morfología y se efectuaron por primera vez estudios espectroscópicos, empleando el Astrográfico y la cámara Saegmüller – Brashear¹⁵, que fue ajustada y empleada con un prisma objetivo. También se realizaron decenas de placas con exposiciones múltiples desenfocadas para determinar el brillo del núcleo del cometa¹⁶. En estas tareas se involucró el mismo director que obtuvo muchas de las fotografías (Perrine, 1934 y Paolantonio, 2010b).

14 Muchos de los instrumentos tenían fallas en los movimientos de relojería o en las monturas, los que fueron salvados por innovadoras intervenciones del personal de la institución, lo que constituye un logro notable teniendo en cuenta que se trataba de aparatos elaborados por afamados artesanos.

15 La fabricación de la cámara Hans Heele se atrasó y llegó a Córdoba recién en 1912, la calidad de las imágenes que daba no era buena, por lo que se la utilizó muy poco hasta la década de 1940 que fue desarmada.

16 Este método se empleó para poder comparar el núcleo difuso del cometa con las estrellas estándares de brillo que tienen aspectos puntuales. Implicó a Perrine el desarrollo de técnicas de medición, así como el diseño y la fabricación de un fotómetro específico para esta actividad que le demandó muchos años. En estos trabajos trabajó también la primera astrónoma de la institución la Dra. Anna Glancy.

Se continuaron las tomas fotográficas para el Catálogo Astrográfico y la Carta de Cielo, las cuales se terminaron luego de la obtención de cientos de placas y casi dos décadas de trabajo.

Pero sin dudas, la investigación de mayor relevancia fue el seguimiento fotográfico con el telescopio de 76 cm y la cámara Saegmüller–Brashear de cúmulos globulares, nebulosas y galaxias, lográndose cientos de placas. Este fue el trabajoprioritario del director entre 1918 y 1936. Producto del mismo se realizaron numerosos artículos, si bien, lamentablemente, no se llegó a concretar una publicación que los incluyera a todos (Landi Dessy, 1970 y Paolantonio, 2022c).



Figura 14.

Telescopio reflector de 76 cm diseñado y fabricado en el Observatorio Nacional Argentino. Fotografía del 3 de mayo de 1918. Se encuentra instalado en la cúpula Este del edificio de la primera sede de la institución (Archivo OAC).

También se trabajó en el seguimiento de eventos particulares, tal el caso de cometas y novas, y en particular se participó en la iniciativa internacional para el estudio del asteroide Eros en su paso de 1931, destinado a la determinación de la paralaje solar. Esta tarea estuvo principalmente a cargo del célebre astrónomo cordobés Jorge Bobone, quien no solo obtuvo la mayoría de las placas, sino que junto al también reconocido astrónomo Juan José Nissen, que midió las placas, realizó los cálculos de reducción necesarios¹⁷ (Bobone, 1931).



Figura 15. Izquierda: J. J. Nissen, director del Observatorio Nacional Argentino, frente a la máquina con la que midió las placas del asteroide Eros. Derecha: J. Bobone, encargado de los cálculos de reducción de los datos (en segundo plano la calculadora marca Monroe que utilizó). Bobone había obtenido en 1931 la mayoría de las placas del asteroide con el Astrográfico. Imágenes tomadas el 28 de octubre de 1939, al terminarse el trabajo de Eros, que resultó determinante para fijar la paralaje solar (distancia Tierra-Sol) (Archivo OAC).

¹⁷ La medición de las placas y los cálculos se efectuaron en 1938, Perrine se había jubilado y Nissen se desempeñaba como director, el primero titular nacido en el país. Los resultados se integraron a lo realizado por otros observatorios, destacándose por ser de los más precisos del conjunto.

En síntesis, en este período se comienza a utilizar en forma sistemática la fotografía, adquiriendo estos trabajos una importancia similar a los realizados con el círculo meridiano. La fabricación del telescopio de 76 cm (hoy denominado “Perrine”) y la propuesta del reflector de 1,5 metros, así como la terminación de numerosas investigaciones destacadas, tales como lo hecho con el cometa Halley, la *Carte du Ciel*, los objetos “nebulosos” y el asteroide Eros, son los hechos más destacables de esta etapa.

V. Período 1938-1980. De la consagración al CCD

La fotografía continuó utilizándose intensamente a lo largo de este período, lográndose numerosos éxitos. Su utilización en la sede de la ciudad de Córdoba a lo largo del siglo XX fue disminuyendo y se limitó fuertemente por la contaminación luminosa, sin embargo, el Astrográfico continuó utilizándose esporádicamente hasta la década de 1990 para casos puntuales. Como consecuencia, los trabajos se concentraron en la Estación Astrofísica de Bosque Alegre con el telescopio de 1,54 metros desde su inauguración ocurrida el 5 de julio de 1942¹⁸.

Se diseñaron y construyeron para el gran telescopio en los talleres del observatorio dos cámaras fotográficas para las tomas de fotografías directas, principalmente en su foto newtoniano, y un innovador espectrógrafo estelar con óptica de reflexión instalado en el foco Cassegrain. Esto fue posible gracias a la intervención destacada del reconocido Dr. Enrique Gaviola (director entre 1940 y 1947), el célebre óptico Ricardo Platzeck (director entre 1947-1952) y el hábil mecánico Ángel Gómara (Paolantonio, 2023 y 2023b).

18 Aquí se hace referencia solo a lo realizado en la institución, dado que progresivamente se comenzaron a emplear la fotografía en otros telescopios en el país y el exterior.



Figura 16. Telescopio de 1,54 m de la Estación Astrofísica de Bosque Alegre, en el foco newtoniano se encuentra instalada la cámara fotográfica para imágenes directas, mientras que en el foco Cassegrain se puede ver el espectrógrafo estelar fotográfico, lo ajusta el destacado ayudante fotógrafo David McLeish (Archivo OAC).

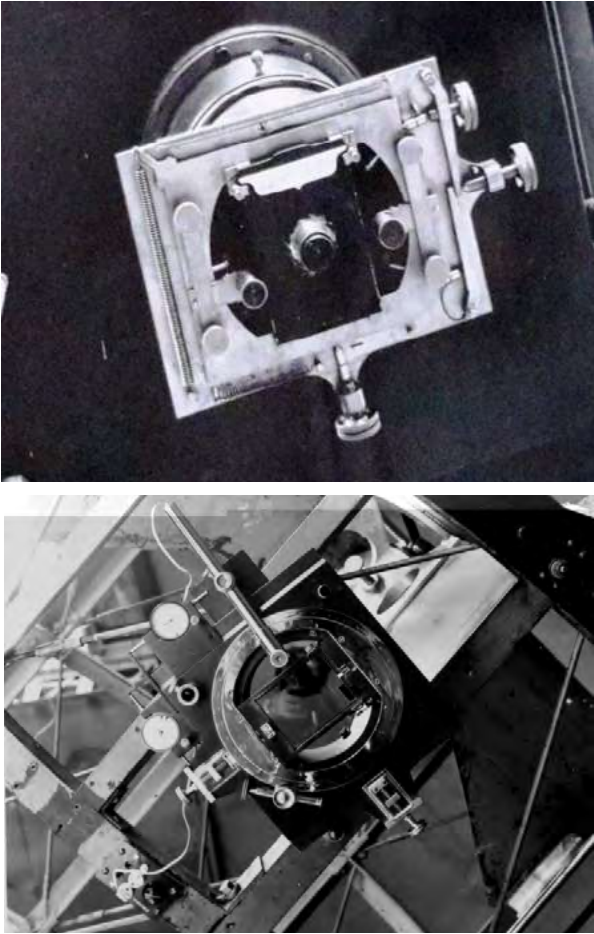


Figura 17. Cámaras fotográficas para tomas directas diseñadas y fabricadas en el Observatorio Astronómico de Córdoba para el telescopio de 1,54 metros. Arriba, la primera cámara fabricada en 1943, fue utilizada principalmente por David McLeish a lo largo de muchos años. Abajo, segunda cámara de 1967, fue diseñada por Zenón Pereyra, Carlos Laborde y Horacio Dottori, bajo la dirección de José L. Sérsic (Archivo OAC).

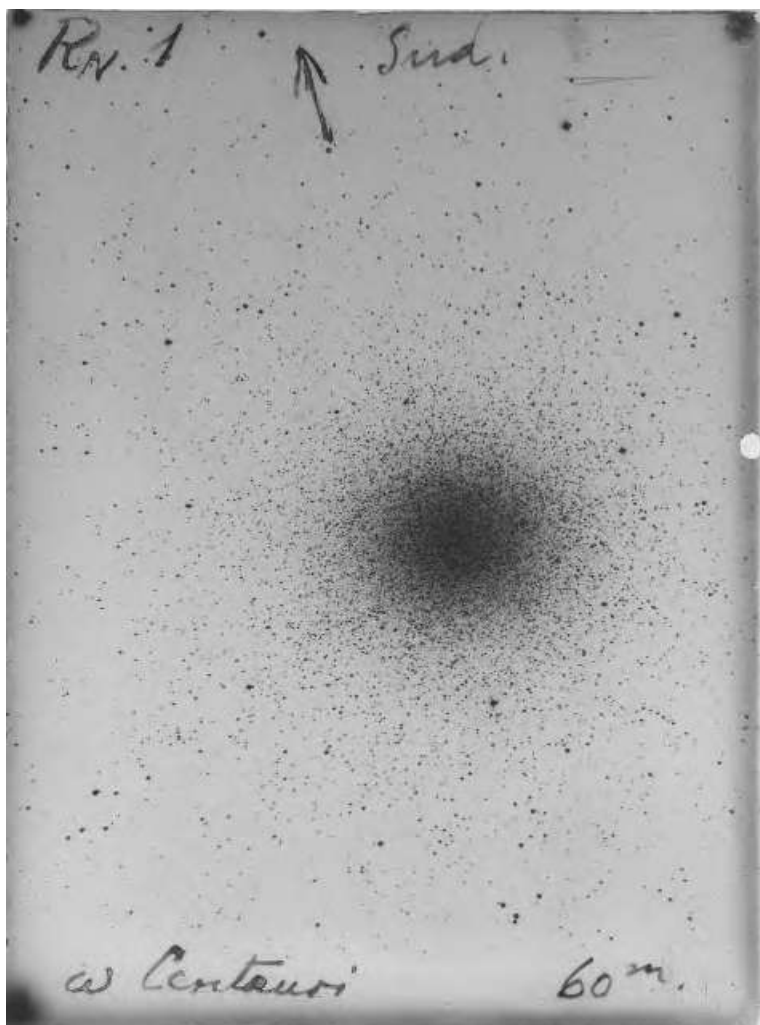


Figura 18. Histórica primera fotografía realizada con el telescopio de 1,54 metros, el 17 de julio de 1942, del cúmulo globular Omega Centauri, con una exposición de 60 min, por el entonces director del Observatorio Dr. Enrique Gaviola (Archivo OAC).

En la década de 1960 se contó con un espectrógrafo nebulas y poco después se obtuvo un interferómetro Fabry-Pérot con el que se desarrollan nuevas líneas de investigación, ambos de registros fotográficos. En esta época también se emplean nuevas técnicas fotográficas tal como el empleo del efecto Sabattier.

En esta etapa se lograron en la institución decenas de miles de placas de imagen directa y espectros, hoy resguardadas en los archivos del Observatorio Astronómico de Córdoba, que derivaron en trabajos y descubrimientos de gran relevancia para el desarrollo de la astronomía, entre los que se pueden nombrar solo a modo de ejemplo, entre otros, el descubrimiento de la nebulosidad en torno de la estrella Eta Carinae, el descubrimiento de las supernovas 1962M y en NGC1313, el Atlas de Galaxias Australes, el descubrimiento de las galaxias peculiares Sérsic-Pastoriza, la primera confirmación de la variabilidad del espectro del núcleo de una galaxia (NGC 1566), el descubrimiento de numerosas enanas blancas, la identificación del objeto McLeish, el descubrimiento del cometa Pereyra 1963 y la publicación del Atlas de espectros estelares de red en mediana dispersión.

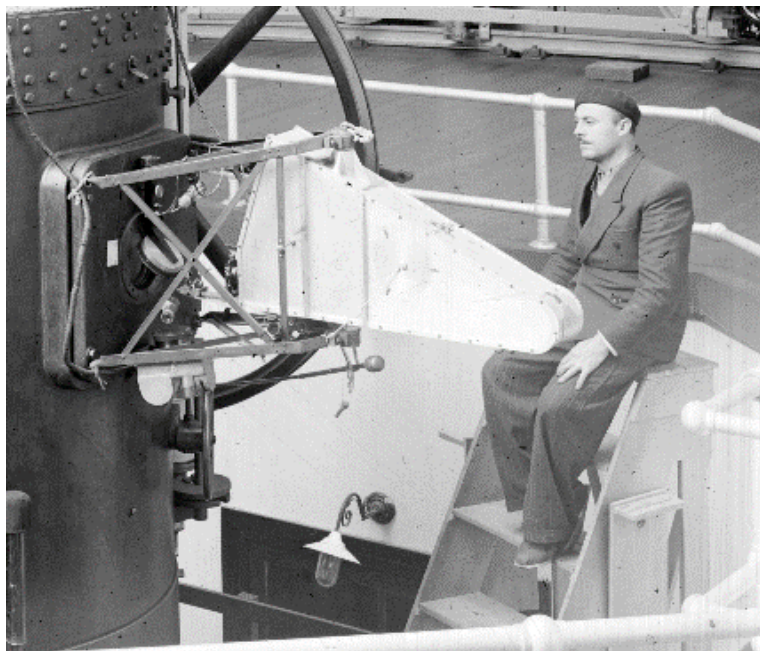


Figura 19. Espectrógrafo estelar I, diseñado y fabricado en el Observatorio, el primero con óptica totalmente de reflexión, montado en el foco Cassegrain del telescopio de 1,54 m, junto a Martín Dartayet, (Archivo OAC).

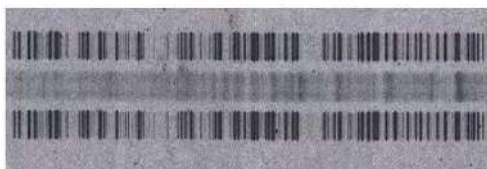


Figura 20. Ejemplos de espectros obtenidos con el espectrógrafo estelar (Archivo OAC).

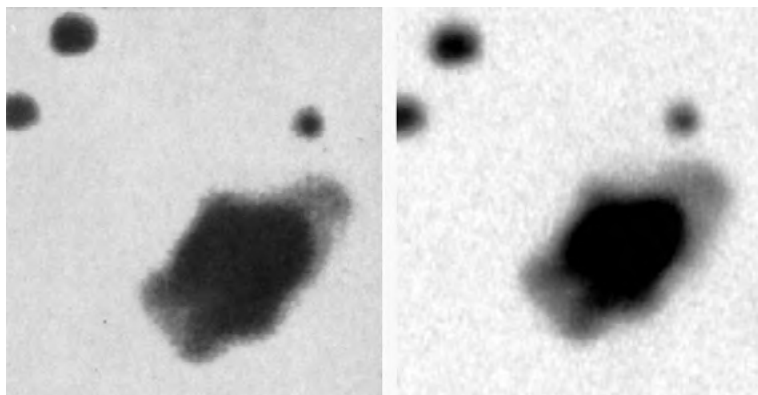


Figura 21. Fotografías del “homúnculo” (nebulosidad) de la estrella Eta Carinae, descubierto en 1943 por el Dr. Enrique Gaviola (Detalles, Archivo OAC).



Figura 22. Fotografía de la galaxia NGC 1566 realizada en Bosque Alegre el 29 de agosto de 1962. Fue la primera galaxia a la que se le detectó variación en el espectro de su núcleo, investigación realizada por la Dra. Miriam Pastoriza (Archivo OAC).



Figura 23. Reproducción de la placa lograda el 6 de diciembre de 1962, con la que se confirmó el descubrimiento de la supernova en la galaxia NGC 1313 (señalada) realizado por el Dr. José Luis Sérsic. La fotografía se realizó con una exposición de 40 minutos empleando una placa tipo 103aO y fue registrada con el número 6915 (norte arriba). El seguimiento fotométrico también se realizó por métodos fotográficos y estuvo a cargo del por entonces Lic. Gustavo Carranza (Archivo OAC).



Figura 24. Objeto McLeish (señalado) por haberlo descubierto David McLeish, fotografía del 20 de noviembre de 1946. La estrella brillante es Delta Pavonis. Hoy se conoce que es un sistema de dos galaxias interactuantes, siendo la principal una espiral vista de canto, situadas a 500 millones de años luz de la Tierra (Archivo OAC).



Figura 25. Atlas de Espectros Estelares de Red en Mediana Dispersión (Biblioteca OAC).

VI. Conclusiones

El Observatorio Nacional Argentino, luego Observatorio Astronómico de la Universidad Nacional de Córdoba, utilizó la técnica fotográfica desde sus inicios, siendo en gran medida pionero en su utilización sistemática para la investigación astronómica, y se destacó por el uso continuo e intensivo de la misma, hasta su sustitución por el uso del CCD en la década de 1980/90, dadas las muy superiores prestaciones de estos dispositivos. A lo largo de su más de siglo y medio de existencia se pueden distinguir claramente tres etapas relacionadas con el empleo de esta técnica que fueron mencionadas. Actualmente el archivo de placas del Observatorio Astronómico de Córdoba cuenta con más de 30.000 ejemplares, la mayoría de inapreciable valor científico e histórico.

Agradecimientos: A las autoridades del Observatorio Astronómico de Córdoba (UNC), y en particular al Coordinador del MOA, Dr. David C. Merlo, por permitir a lo largo de los años el acceso a la información, a Maximiliano Bozzoli por su revisión crítica.

Referencias

- Bobone, J. 1931, *Determinación de la Paralaje Solar por medio del Asteroide Eros. Conferencia, Asociación Cultural de Conferencias*. Publicación N° 1. Rosario. Carte Photographique du Ciel (1896). Réunion du Comité International Permanent. París. P. 11.
- Chaudet, E. 1926, *Evolución de las Ciencias en la República Argentina, V La Evolución de la Astronomía durante los últimos cincuenta años 1872-1922*, Sociedad Científica Argentina. Bs As.
- Chinnici, I. (1999). *La Carte du Ciel, Correspondance inédite conservée dans les archives de l'Observatoire de Paris*, Observatorio de París, Observatorio Astronómico de Palermo G. S. Vaiana, Unión Astronómica Internacional. París.
- Chinnici, I. (2008). *La Carte di Ciel: genèse, déroulement et issues*. En *La Carte du Ciel*, Lamy J., L'Observatoire de Paris, pp. 19-43.



- Gershanik, S. (1979). *El Observatorio Astronómico de La Plata*, en *Evolución de las ciencias en la República Argentina 1923-1972*, Tomo VII, Sociedad Científica Argentina.
- Landi Dessy, J. 1970, *Charles Dillon Perrine y el desarrollo de la Astrofísica en la República Argentina*, Boletín de la Academia Nacional de Ciencias. Córdoba. Tomo 48.
- Gould, B. A. 1871, *Letter to Editors from B.A. Gould, Director of Cordoba Observatory. April 26, 1871*, American Journal of Science and Arts, Second Series, V. II, pp. 136-137.
- Gould, B. A. (1897). *Fotografías Cordobesas. Observaciones fotográficas de cúmulos de estrellas. Incluye mapas y posiciones de estrellas de 37 cúmulos abiertos, principalmente del hemisferio sur. Resultados del Observatorio Nacional Argentino*, Volumen XIX, Lynn, Mass, The Nichols Press – Thos. Nichols.
- Minniti, E. R. y Paolantonio, S. (2009). *Córdoba Estelar. Historia del Observatorio Nacional Argentino*. Observatorio Astronómico de la Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba: Editorial de la Universidad. Versión Electrónica actualizada 2024 (<http://www.cordobaestelar.oac.uncor.edu/>). Córdoba Estelar 2021 (<https://editorial.unc.edu.ar/producto/cordoba-estelar-ebook/>), actualizada y ampliada (Ebook).
- Milone, L. A. 1979, *El observatorio astronómico de Córdoba*, en *Evolución de las Ciencias en la República Argentina 1923 - 1972*, Sociedad Científica Argentina, Tomo VII, Astronomía, Buenos Aires.
- Paolantonio, S. y Minniti, E. R. 2001, *Uranometría Argentina 2001, Historia del Observatorio Nacional Argentino*, SECyT – OAC, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba.
- Paolantonio, S. (2010). El primer gran telescopio construido en Argentina. El telescopio Perrine de 76 cm. Disponible en <https://>

historiadelaastronomia.wordpress.com/documentos/el-prim-
er-gran-telescopio-construido-en-argentina/.

Paolantonio, S. (2010b) A un siglo del paso del cometa Halley. Disponible
en www.historiadelaastronomia.wordpress.com.

Paolantonio, S. (2011). Charles D. Perrine, desde el Lick Observatory
al Observatorio Nacional Argentino. Disponible en [https://his-
toriadelaastronomia.wordpress.com/astronomos-argentinos/
perrine_designacion/](https://historiadelaastronomia.wordpress.com/astronomos-argentinos/perrine-designacion/).

Paolantonio, S. (2013). Astrocámara Saegmüller-Brashear. Disponible en
[https://historiadelaastronomia.wordpress.com/documentos/
camarasb/](https://historiadelaastronomia.wordpress.com/documentos/camarasb/)

Paolantonio, S. (2013b). Astrocámara Hans Heelen del Observatorio Na-
cional Argentino. Disponible en [https://historiadelaastronomia.
wordpress.com/documentos/camaraHH/](https://historiadelaastronomia.wordpress.com/documentos/camaraHH/).

Paolantonio, S. (2015). El Gran Ecuatorial del Observatorio Nacional
Argentino. Disponible en [https://historiadelaastronomia.wor-
dpress.com/documentos/ecuatorial/](https://historiadelaastronomia.wordpress.com/documentos/ecuatorial/)

Paolantonio, S. (2020). Fotografías lunares. Sobre los inicios de la foto-
grafía astronómica en Argentina. Disponible en [https://historia-
delaastronomia.wordpress.com/documentos/FC2020/](https://historiadelaastronomia.wordpress.com/documentos/FC2020/).

Paolantonio, S. (2022) 150 años de las primeras fotografías astronómicas
en la República Argentina. Disponible en [https://historiadelaas-
tronomia.wordpress.com/150años/](https://historiadelaas-
tronomia.wordpress.com/150años/).

Paolantonio, S. (2022b) Objetivo del primer astrográfico argentino. A 150
años del inicio de las Fotografías Cordobesas. Disponible en [ht-
tps://historiadelaastronomia.wordpress.com/objetivoR-H/](https://historiadelaastronomia.wordpress.com/objetivoR-H/).

Paolantonio, S. (2022c) Apuntes sobre los comienzos de la Astrofísica en
la República Argentina. 1871-1942. *Epistemología e Historia de la
Astronomía*. Volumen I. Facultad de Filosofía y Humanidades,



- Universidad Nacional de Córdoba. pp.267-285. Disponible en <https://historiadelaastronomia.wordpress.com/wp-content/uploads/2022/11/2022-astrofisica-jhea.pdf>
- Paolantonio, S. (2023). Espectrógrafo I de la Estación Astrofísica de Bosque Alegre. Disponible en <https://historiadelaastronomia.wordpress.com/documentos/espl/>.
- Paolantonio, S. (2023b). Cámara fotográfica de la Estación Astrofísica de Bosque Alegre. Disponible en <https://historiadelaastronomia.wordpress.com/cfeaba/>.
- Perrine, C. D. (1925) *Catálogo Astrográfico Zona -24º, Coordinadas rectangulares y diámetros de 61.883 estrellas de fotografías hechas en el Observatorio Nacional Argentino*, Córdoba, 1900.0, Volumen 26, Charles D. Perrine et al, Publicado por el Observatorio, Imprenta y casa editora Coni, Buenos Aires.
- Perrine, C. D. et al. 1934a, *Observaciones del cometa Halley durante su aparición en 1910*, Resultados Observatorio Nacional Argentino, V. 25, Imprenta Universidad Nacional de Córdoba.
- Rutherford, L. M. (1865). Astronomical Photography. *The American Journal of Science and Arts*, vol XXXIX. Art. XXXVII, pp. 304-309.
- Updegraff, M. (1890). Same Notes on Astronomy in South America. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 2, 10, p. 217.



Puesta en valor museológica y astronómica de placas espectrográficas

Romina Peralta*

Mónica López*

Matilde Iannuzzi*

Yael Aidelman*,‡

Roberto Gamen*,‡

Lydia Cidale*,‡

Resumen

Las placas espectroscópicas de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata datan del siglo XX, desde 1904 hasta mediados de 1980. La puesta en valor de las mismas se lleva a cabo por un equipo multidisciplinario que seleccionan el material respetando las formas de manipulación, saneamiento, guardado, tiempos de ejecución, lecturas e investigación apropiadas. Dicho patrimonio está constituido por vidrio, emulsiones fotográficas, papel, diversas tintas y lápices. Por lo que es necesario diferenciar entre biodeterioro y deterioro traumático. Junto a este esquema de pautas, presentamos, además, un criterio taxonómico para la clasificación de las placas fotográficas, en su versión de archivo, identificando y agrupando en etapas, los objetos/placas en función de su salvaguarda, su accesibilidad y, por lo tanto, puesta en conocimiento.

Palabras clave: Placas espectrográficas, patrimonio, recuperación, conservación, digitalización, NOVA.

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

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

Abstract

The spectroscopic plates of the Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas of the Universidad Nacional de La Plata date back to the 20th century, from 1904 to the mid-1980s. Their enhancement is done by a multidisciplinary team that selects the material considering the forms of manipulation, sanitation, saving, execution times, appropriate readings and research. This heritage comprises glass, photographic emulsions, paper, various inks and pencils. Therefore, it is necessary to differentiate between biodeterioration and traumatic deterioration. Along with this outline of guidelines, we also present a taxonomic criterion for the classification of photographic plates in their archival version, identifying and grouping the objects/plates into stages based on their safeguarding, their accessibility and, therefore, made known.

Keywords: Spectrographic plates, restoration, conservation, digitization, NOVA.

I. Introducción

El Observatorio de La Plata, que forma parte de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAG) de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), cuenta con un relevante acervo patrimonial de placas espectrográficas, en soporte de vidrio, de estrellas brillantes, planetas y satélites naturales. Este material no sólo tiene un gran valor para futuros estudios científicos, sino también, para la investigación de la historia y trayectoria de esta institución, ya que, centenares de estrellas dobles y peculiares fueron descubiertas en este mismo Observatorio de La Plata.

Desde hace unos años, con la creación del Proyecto ReTrOH¹ (Recuperación del Trabajo Observacional Histórico), y la conformación de un equipo interdisciplinar, mediante la búsqueda y la investigación, se vienen rescatando una gran variedad de placas espectrofotográficas y documentos en diversos formatos, escritos de puño y letra de quienes fueron observadores-científicos/as-astrónomos/as. El proceso de poner en valor este conjunto, comenzó una carrera contra el tiempo desde el ámbito de la museología, con el fin de evitar su deterioro continuo [Fig. 1]. Además,

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

buscamos recuperar físicamente este material para preservar su contenido científico y garantizar el acceso a quienes lo necesiten. Esta puesta en valor incluye, además, un ordenamiento archivístico, que permita, el acceso a los recursos digitales como a los materiales, según sea necesario. Para ello, estamos trabajando en adaptar formatos y métodos de acceso universales, siempre y cuando el patrimonio y los criterios de conservación lo permitan.



Figura 1. Interpretación metafórica del paso del tiempo y la importancia de la conservación del acervo patrimonial.

II. Conjunto de acervo patrimonial: placas, sobres, cuadernos, planillas y estado de conservación.

Tenemos en posesión un aproximado de 15000 espectros estelares y se han encontrado, además, 14 cuadernos de observación y alrededor de 1000 páginas correspondientes a planillas de observación, las cuales contienen datos de los objetos observados, las condiciones meteorológicas y las iniciales de los observadores.

Respecto al estado de conservación de las placas espectroscópicas y sus correspondientes contenedores (sobres de papel porta placas), encontrado al momento del rescate, era de mala a regular. Principalmente por la presencia de hongos tanto en el espacio arquitectónico como en el mobiliario [Fig. 2], derivados del ambiente húmedo donde están alojados. La descripción del proceso realizado para la limpieza y el saneamiento están

descritos por Meilán et al. (2021). En cuanto a los cuadernos en papel, con escrituras a mano, en lápiz y tinta, así como las planillas de observación fueron encontrados en buen estado, cubiertos por polvo acumulado por el transcurso del tiempo. Es imprescindible que todos estos soportes materiales, que son sumamente sensibles, sean transportados, embalados y manipulados con seguridad para evitar roturas y garantizar su conservación preventiva. En la actualidad, la digitalización de todo este material, es otra forma más de conservación preventiva, ya que, una vez subida la documentación a repositorios virtuales y universales, permite su acceso sin poner en riesgo la integridad física de tan valioso acervo astronómico.

Si bien aún no se cuenta con una Reserva de Archivo apta para este patrimonio, la limpieza mecánica y el cambio a un ambiente más apropiado del material seleccionado para su digitalización, es de relevancia para su cuidado y preservación.



Figura 2. Imagen de humedad extrema del ambiente físico, tanto arquitectónico como mobiliario, donde se encuentran los sobres con placas.

II.1 Clasificación y organización del material

Dentro del edificio es necesaria, además, una disponibilidad para la consulta de los/as usuarios/as, así como del personal profesional que lleva a cabo un seguimiento del estado de conservación y tratamiento técnico disciplinar. Para ello, hemos constituido un primer bloque material de archivo en mobiliario, que nos permite accesibilidad y contención, en función de la preservación de este patrimonio de la astronomía vernácula. Para ello fue necesario implementar un método de estandarización que optimice la “performance” de las ubicaciones, adaptando dicho espacio.

La modalidad de agrupación, ya sea, documento, expediente, fondo u otros, precisa un formato propio y absolutamente necesario para su apropiada conservación. En el caso concreto del archivo en formación, éste requiere la separación de documentos por formato y soporte, respetando los contenedores originales (sobres, cajas, encuadernados) o la implementación de contenedores propios para la conservación preventiva, con medidas y características adecuadas a cada tipología [Fig. 3]. Sumado a ello, la correcta clasificación mediante la firma topográfica con su correspondiente signatura (conjunto de números y letras) facilita su localización.

En cuanto a la gestión del espacio, contamos con mobiliario, en su mayoría muebles originales y que consideramos también de valor histórico en la institución. Los cuales están siendo saneados para su restauración y su posterior reutilización. En algunos casos, se ha reformulado el espacio del contenedor, si bien consensuamos en conservar los sobres originales de las placas, con sus datos de puño y letra de quienes investigaron/observaron/fotografiaron, éstos son alojados en otros sobres de papel de conservación, de alta calidad y libre de ácido. El mismo procedimiento es utilizado para la conservación de cuadernos y planillas. Es decir, gran parte del material se contiene en sobres de cartulina, libres de ácido, que luego son archivados en cajas. De ser necesario, también fabricamos visores de Mylar (material transparente) que facilita la visualización del contenido y su organización, definiéndose este por su formato y medidas.

Contamos entonces con dos clases de soportes físicos que implican diferentes tipos de organización, tratamiento y conservación. Por una parte, el material espectrofotográfico propiamente dicho (en soporte de placas de vidrio), cuya tarea de rescate, conservación preventiva y digitalización fueron descritas por Meilán et al. (2021). Por otra parte, el resguardo de

los documentos en soporte de papel, cuya digitalización se realiza en colaboración con el Servicio de Difusión de la Creación Intelectual² (SeDiCI, por ejemplo Fernández et al., 2020).



Figura 3. Contenedores para la conservación preventiva de placas, con medidas y características a cada tipología, en la reserva del Museo

Finalizado el proceso de limpieza, recuperación y guarda del material, se procede a la extracción del espectro para rescatar el dato de ciencia. Esta tarea se realiza transformando una imagen en dos dimensiones -que resulta de la imagen escaneada- a información unidimensional donde se tiene una distribución de densidad de granos de plata sobre la emulsión de la placa (obtenida por la suma de trazas del espectro en dirección perpendicular al eje de dispersión) y su posición relativa en el espectro. Realizando el mismo procedimiento sobre los espectros de comparación, ubicados a cada lado del espectro de ciencia, se procede a realizar la calibración en longitud de onda. Esta tarea puede llevarse a cabo en forma manual empleando las tareas del paquete IRAF³ (como se describe en Meilán 2018)

2 El Servicio de Difusión de la Creación Intelectual es el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de La Plata, un servicio libre y gratuito creado para albergar, preservar y dar visibilidad a las producciones de las Unidades Académicas de la Universidad.

3 IRAF es una distribución del *National Optical Astronomy Observatory*, que opera bajo la *Association of Universities for Research in Astronomy (AURA)*, Inc., bajo un acuerdo con el *National Science Foundation*.

o empleando aprendizaje automático para sistematizar el proceso (Ponte Ahón et al. 2024, enviado a publicar). Los espectros procesados serán incorporados al repositorio del Nuevo Observatorio Virtual Argentino (NOVA).

No menos importante es reconocer el contexto de las observaciones dentro de un proyecto o programa de observación, identificar qué datos fueron publicados y qué impacto tuvieron, ya que el patrimonio se mide también por los valores científicos culturales de una institución y el nombre de sus investigadores y personal de apoyo.

II.2 Criterio taxonómico para la clasificación de documentación

Se definió un recorrido para las placas, desde el momento del hallazgo hasta su guardado definitivo (tanto físico como digital). El recorrido es el siguiente:

A) Cuarentena: Una vez halladas las placas, éstas se aíslan dentro de un contenedor. De ser posible se requiere que el contenedor se encuentre en un lugar con humedad y temperatura controladas.

B) Post-Cuarentena: Terminado el plazo de la cuarentena, las placas están listas para ser saneadas de manera mecánica en primera medida. Se trasladan las placas del sitio de la cuarentena a otro espacio donde aguardará el próximo paso.

C) Limpieza: Las placas pasan por una segunda instancia de limpieza, esta vez más profunda, de manera mecánica, utilizando diferentes instrumentos (pinceles de diversas cerdas). Una vez limpias, las placas quedan listas para ser escaneadas [Fig. 4].

D) Escaneo histórico: Se escanea cada placa junto con su sobre contenedor en un escáner comercial, para que quede un registro del vestigio.

E) Escaneo científico: Se escanean las placas con un escáner optimizado para placas fotográficas, obteniendo así una imagen digital de los espectros estelares. Luego, utilizando el software “spectrogram” (Ron-

chetti et al., 2023; Pereyra et al., 2023) se genera la imagen en formato FITS y se agregan sus correspondientes metadatos al encabezado (“header”) del archivo.

F) Digitalización completa: Las placas pasaron por el escaneo histórico y científico, ya pueden guardarse en la reserva del Museo.

G) Museo: Las placas ingresan al “Inventario del Patrimonio del Museo de la FCAG”. Se les asigna la nomenclatura correspondiente y un lugar de guardado definitivo.

H) SeDiCI: Las imágenes FITS de los espectros digitalizados se suben al SeDiCI, acompañado de la imagen del escaneo histórico y con un texto descriptivo.

I) Extracción: Los espectros son transformados de un formato 2D que resulta de la digitalización a un formato 1D para su análisis científico. Posteriormente son calibrados en longitud de onda.

J) NOVA: El espectro procesado y validado para un análisis científico es subido al repositorio del Nuevo Observatorio Virtual Argentino (NOVA).

Las placas recuperadas se inscriben en una planilla de cálculo para conformar una base de datos. Se acordó, recientemente, agregar una columna a la base de datos, donde se indique la instancia en el proceso en el que se encuentre cada placa. Para cada etapa culminada se agrega la letra correspondiente en esta columna.



Figura 4. Post-cuarentena, las placas pasan a los diferentes cajones del mueble de la oficina ReTrOH, según el estadio en el que se encuentren.

Para los cuadernos y las planillas de observación se definió un recorrido similar:

A) Cuarentena: Una vez hallados los documentos, se aíslan dentro de un contenedor que, en lo posible, se encuentre en un lugar con humedad y temperatura controladas.

B) Post-Cuarentena: Terminado el plazo de la cuarentena, los documentos están listos para ser saneados de manera mecánica en primera medida. Son trasladados del sitio de la cuarentena a otro espacio donde aguardarán el próximo paso.

C) Limpieza: Los documentos pasan por una segunda etapa de limpieza, esta vez más profunda, de manera mecánica, utilizando diferentes instrumentos (pinceles de diversas cerdas). Una vez limpios, quedan listos para ser escaneados.

D) Escaneo histórico: Los documentos se envían al SeDiCI para ser escaneados. Allí, luego de la captura de las imágenes en formato PDF, se realiza un proceso de manipulación y edición de los archivos con el objetivo de que sean compatibles con la búsqueda en la web (Fernández et al., 2020).

F) Digitalización completa: Los documentos ya pueden guardarse en el archivo documental del Museo.

G) Museo: Los documentos ingresan al “Inventario del Patrimonio del Museo de la FCAG”. Se les asigna la nomenclatura correspondiente y un lugar de guardado definitivo.

II.3 Conservación física del vestigio y puesta en valor de soportes originales

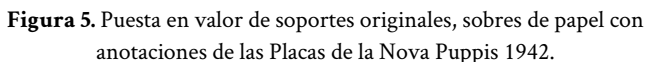
Cada placa espectroscópica viene dentro de un sobre de papel. Algunos sobres tienen una antigüedad de aproximadamente 100 años, y en muchos casos, se ven afectados por agentes biológicos (hongos y bacterias) que han prosperado tanto a causa del almacenamiento temporal como del ambiente climático, totalmente inadecuado al que estos fueron expuestos. Desafortunadamente, acompañando al biodeterioro, debemos sumarle el deterioro traumático ocasionado por la deformación de la emulsión (mala posición de la placa al ser guardada), rayones, roturas accidentales y presencia de hollín como resultado del incendio ocurrido en la sala Grant por un problema eléctrico con el deshumidificador en la década de los '90.

Hemos discutido, dentro del equipo de trabajo museológico, diferentes instancias de rescate de este valioso material y llegado a la conclusión de la importancia de conservar estos sobres. Los mismos conforman una parte fundamental del documento histórico-científico a poner en valor, ya que, son testigos de una tecnología determinada por su tiempo y lugar, revelando así los procedimientos de su época [Fig. 5].

Hasta el momento, se han digitalizado:

- 23 placas espectrográficas correspondientes a la colección del descubrimiento de Nova Puppis (ver la siguiente sección).

- 41 placas espectrográficas correspondientes a la colección de la estrella Mu Centauri.
- 253 placas espectrográficas correspondientes a la colección de observaciones realizadas por la Dr. Virpi Niemela entre los años 1970 y 1980, disponibles a través del SeDiCI.
- 8 documentos correspondientes a los cuadernos de observación de los telescopios Espectrográfico y Reflector del Observatorio Astronómico de La Plata. Estos cuadernos registran las observaciones realizadas con dichos instrumentos entre los años 1954 y 1979.
- 31 documentos correspondientes a los volúmenes del 1 al 39 del Boletín de la Asociación Argentina de Astronomía publicados entre los años 1960 y 1994 (Fernández et al., 2020), disponibles a través del SeDiCI.
- 57 documentos correspondientes a la Serie Astronómica. Estos documentos registran las investigaciones que se realizaban en el Observatorio Astronómico de La Plata.



III. Nova Puppis 1942, Dawson y el valor de estas placas

Entre las placas espectroscópicas históricas almacenadas en el subsuelo sur del edificio principal del Observatorio Astronómico, conocido como Sala Grant (en nombre del famoso microdensitómetro empleado para la lectura de dichos espectros) datan las observaciones del descubrimiento

⁴ <https://ui.adsabs.harvard.edu/>

de CP Puppis o Nova Puppis 1942. Siendo este objeto, la cuarta nova con mayor brillo intrínseco observada en el siglo XX.

El avistamiento de Nova Puppis fue realizado a ojo desnudo por el jefe de departamento del Observatorio Astronómico de La Plata, Dr. Bernhard H. Dawson⁵, el 8 de noviembre de 1942 a las 23:30 horas, mirando el cielo desde la terraza de su casa en la ciudad de La Plata (Sahade, 1942, Paolantonio, 2009). Al momento del descubrimiento, el Dr. Dawson reconoce una nueva estrella de gran brillo (aproximadamente de magnitud 2). El Dr. Dawson busca identificar el objeto en las cartas celestes, y ante esa negativa, inmediatamente sospechó que podría tratarse de una nova. Este hallazgo fue constatado espectroscópicamente pocas horas después en el Observatorio de La Plata por los Dres. A. Wilkens y J. Sahade, registrando un total de 64 espectros tomados entre noviembre de 1942 y junio de 1943 con el Telescopio Reflector de la FCAG [Fig. 6], empleando el espectrógrafo de Hartmann. El descubrimiento fue reportado por el director del Observatorio de Córdoba Dr. E. Gaviola mediante telegrama [Fig. 7].

El material encontrado es de relevante importancia en el estudio de las novas ya que dichos espectros fueron tomados antes de que la nova alcanzará su máximo brillo ($m_v = 0.3$). Desafortunadamente, estos datos no fueron publicadas a nivel internacional, aunque fueron difundidos a través de charlas y artículos de divulgación de alcance nacional, como los publicados en los números de la Revista Astronómica (tomo XIV, N° V y VI y tomo XV N° V) de la Asociación Argentina de Amigos de la Astronomía, de la que B. Dawson era socio. Por este descubrimiento, el Dr. Dawson recibió en 1943 la primera medalla “David B. Pickering Nova

5 Bernhard Hildebrandt Dawson (1890-1960), nació en Kansas City (Estados Unidos). Estudió astronomía en la Universidad de Michigan (1914) donde defendió su tesis de doctorado en 1933, empleando observaciones del sistema binario beta 1000 plus Delta 31, adquiridas con el telescopio refractor (Gran Ecuatorial), de La Plata (Argentina), donde se desempeñó como astrónomo asistente desde 1912. Sus investigaciones incluyeron observaciones y descubrimiento de estrellas dobles, estrellas variables, novas, ocultaciones de estrellas por la luna (trabajo pionero realizado desde el Observatorio de La Plata a partir de 1927), asteroides y cometas. Estudió, además, estrellas con líneas en emisión. Entre los años, 1948 y 1955 se desempeñó como Profesor en la Facultad de Ingeniería de San Juan. Luego, fue director del Observatorio de La Plata por un período de tres años (1955-1957) y, en 1958, fue designado primer presidente de la Asociación Argentina de Astronomía.

Medal”, otorgada por la “*American Association of Variable Star Observers (AAVSO)*” a los observadores que descubren a simple vista la aparición de una Nova.

El hallazgo de este material inédito no sólo conforma parte del acervo patrimonial científico-histórico de la Facultad, sino que suma a la documentación e investigación de las novas en general.



Figura 6. Placas de Nova Puppis, adquiridas entre noviembre de 1942 y junio de 1943.

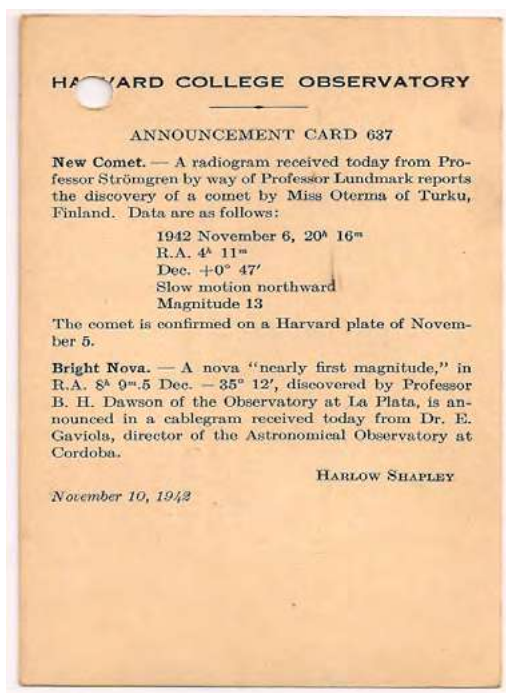


Figura 7.
Telegrama al
Harvard College
Observatory
(Dawson & Sarpley
1942).

Los espectros de la nova fueron tomados con el espectrógrafo Hartman con una dispersión de $160 \text{ \AA/mm}$ en la región de $H\alpha$. La totalidad de los espectros fueron digitalizados. Hoy estamos trabajando en la extracción de los mismos. En la figura 8, se puede apreciar el primer espectro adquirido de la nova (izquierda), sin lámpara de comparación, y anotaciones en el cuaderno de observación (de difícil lectura), realizadas por Wilkens. En la figura 9, se presentan algunos espectros tomados en las noches subsiguientes (placa H.294 del 19 de noviembre de 1942) donde se aprecian las líneas de H y de las series de Balmer mostrando intensos perfiles P Cygni (las zonas oscuras representan las componentes en emisión y las claras las absorciones). En dicha placa se observan 5 espectros de la nova, un sólo espectro de comparación (al centro de la placa) y espectros de una estrella de tipo espectral A2 IV (δ Vel) como estrella de referencia.

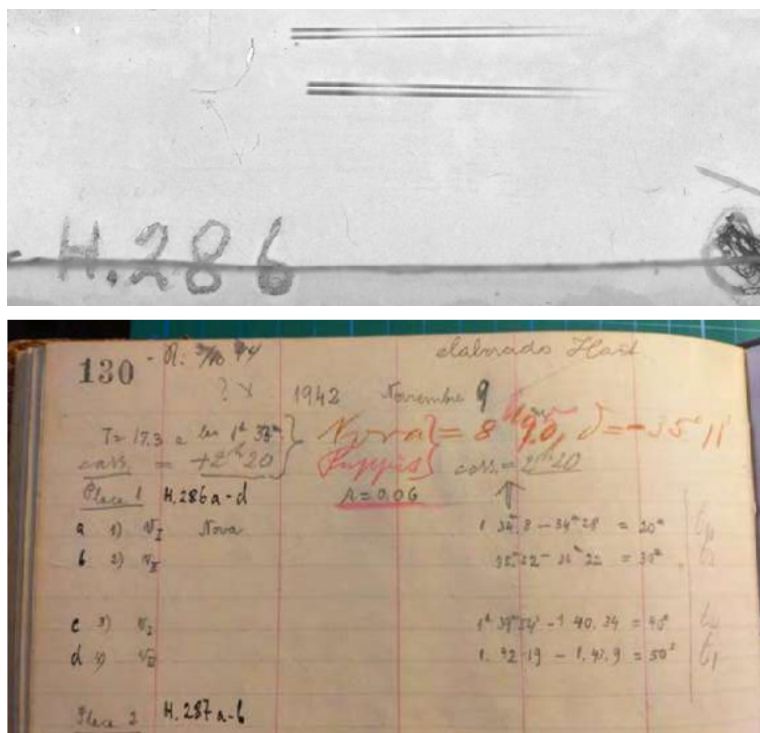


Figura 8. Placa H.286, primer espectro de Nova Puppis (arriba).
Anotaciones realizadas por Wilkens (abajo).

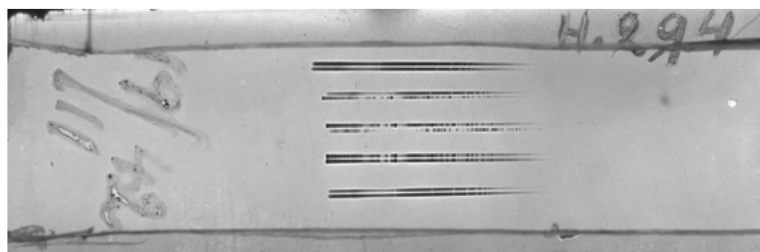


Figura 9. Placa H.294, se aprecia la serie de Balmer y la línea H con
típicos perfiles PCygni. Orientación de la placa azul a la derecha,
rojo a la izquierda.

Acompañando al registro espectroscópico hay un registro fotométrico. La nova alcanzó su máximo brillo el 11 de noviembre (0,3 mag) y decaió rápidamente, 3 magnitudes en 6.5 días, y fue clasificada como una nova del grupo 3 con decaimiento rápido y “plateau” (McLaughlin 1950). Se estimó que la estrella fuente de la nova es una estrella débil de magnitud 17.

La Estación Astrofísica de Bosque Alegre (Córdoba) también observó la NOVA entre los años 1943 y 1947. Los datos fueron publicados por L. Gratton (1953) quien reporta la presencia de líneas en emisión de [Fe II], [O III], [Ne III], He II, N III, [Ne V], [Fe VII], [S II]. Hoy en día, sabemos que CP Pup es una fuente de rayos X con un período orbital de 1.47 horas (Mason et al., 2013), dato que coincide con la fotometría de TESS (Veresvarska et al., 2024). El sistema parece estar conformado por una enana blanca de 11.000 K y una estrella fría donora de 2.700 K. Otra característica de esta nova es que nunca volvió a su estado original previo a la erupción de 1942.

IV. Conclusiones

El rescate, y por lo tanto, la puesta en valor de las placas espectroscópicas, que conforman una parte del patrimonio histórico-científico de la Facultad de Astronomía y Geofísica de la UNLP, ha sido, y es posible, por la mirada y la visión de astrónomos/as-científicos/as-museólogos/as, que ven en éstas pruebas parte de una historia de la astronomía a salvaguardar y compartir, mediante la digitalización de las mismas y facilitando su acceso a un repositorio virtual. La tarea de la museología en este ámbito es el rescate integral de cada placa y de cada documento escrito asociado, como así mismo, el acondicionamiento del espacio físico que fue utilizado para su guarda y la recuperación de su historia (proyectos, observadores, etc.). Esta puesta en valor se lleva a cabo por el equipo multidisciplinario, por etapas y con pautas definidas, desde su localización hasta la recuperación y archivo que consisten en las formas de manipulación, saneamiento, guardado, tiempos, lecturas e investigación apropiadas a la delicadeza de dicho patrimonio; constituido por vidrio, emulsiones fotográficas, papel, diversas tintas y lápices. En este trabajo queremos también destacar el hallazgo de las observaciones de una de las novas más brillantes del siglo XX, Nova Puppis (1942). Su historia y su documentación asociada. Esta

nova tan peculiar, descubierta por B. Dawson en la ciudad de La Plata, hoy continúa siendo un enigma y motivo de estudio.

El sistema de clasificación del material que nos encontramos procesando incluye la discusión de criterios taxonómicos para su versión de archivo histórico de museos, en nuestro caso de placas espectrofotográficas, identificando y agrupando los objetos/placas en función de su salvaguarda, su accesibilidad y, por lo tanto puesta en conocimiento.

Agradecimientos: Este proyecto ha recibido financiación del Proyecto EG001 de la UNLP.

Referencias

Dawson, B. H. (1943). Las estrellas novae. *Revista Astronómica*. Tomo XV, Número V, pp. 278-284.

Elíades L.; Ferreri, N.; Valdez. (2019). "Informe sobre el análisis micológico de ambiente, mobiliario y material fotográfico en vidrio presente en el subsuelo del Observatorio de La Plata". Ref.: *Análisis micológico de ambiente y material de interés en depósitos RETROH*.

Entrega de la «David B. Pickering Nova Medal» al Dr. Bernhard H. Dawson 1943. *Revista Astronómica*. Tomo XV, Número V, pp. 300-305.

Fernández, E. C.; Méndez Moura, P.; Nusch, C. J.; De Giusti, M. R.; Calamante, L.; Folegatto, L.; Aidelman, Y.; Cidale, L. S.; Gamen, R. (2020). "Digitalización de los primeros volúmenes del BAAA". *Boletín de la Asociación Argentina de Astronomía*. Vol. 61B, pp. 248-250.

Gratton, L. (1953). "The Nebular Spectrum of Nova Puppis 1942. 1953". *Astrophysical Journal*. Vol. 118, p. 568.

Mason, E.; Orio, M.; Mukai, K.; Bianchini, A.; de Martino, D.; di Mille, F.; Williams, R. E.; Abbot, T.; de Propriis, R.; Luna, G. J. M.

- (2013). "On the nature of CP Pup". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. Vol. 436, Issue 1, pp. 212-221.
- Mclaughlin, D. B. (1950). "Problems in the Spectra of Nova". *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*. Vol. 62, No. 367, p. 185.
- Meilán, N. S. (2018). "Recuperación del patrimonio observacional histórico. Elaboración de un método óptimo de digitalización y extracción de datos". Tesis de Licenciatura.
- Meilán, N. S.; Aidelman, Y.; Cidale, L.; Gamen, R.; López, M.; Peralta, R. (2021). "Preservación de la memoria colectiva-científica, en la astronomía argentina, desde el Observatorio de La Plata". *Epistemología e Historia de la Astronomía*. Vol. 1, p. 193.
- Nova Puppis, 1942, 1942 Noticiario Astronómico. *Revista Astronómica*. Tomo XIV, Número V, pp. 316-317.
- Paolantonio, S. (2009). "Recuerdos del descubrimiento de la Nova Puppis 1942". Disponible en <https://historiadelaastronomia.wordpress.com/documentos/nova-puppis-1942/>
- Pereyra, N.; Ponte Ahón, S. A.; Aidelman, Y. J.; Ronchetti, F.; Quiroga, F. M.; Gamen, R. C.; Cidale, L. S. (2023). "Software de procesamiento automático de placas espectrográficas". *Boletín de la Asociación Argentina de Astronomía*. Vol. 64, pp. 332-334.
- Ponte Ahón, S.; Aidelman, Y.; Seery, J. M.; Quiroga, F.; Ronchetti, F.; Hasperué, W.; Iannuzzi, M.; Peralta, R.; López, M.; Fernández-Baviera, A.; Cidale, L.; Gamen, R. (2024). "ReTroH-UNLP: Conservation of the Historical Observational Work of the Astronomical Observatory of La Plata with Computer Vision". Enviado a: *Journal on Computing and Cultural Heritage*.
- Ronchetti, F.; Quiroga, F. M.; Pereyra, N.; Miranda, J.; Ponte Ahón, S. A.; Aidelman, Y. J.; Gamen, R. C.; Lanzarini, L. C. (2023). "Software

inteligente para la digitalización de placas espectroscópicas”. *XX-VIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación*. pp. 26-35.

Sahade, J. (1942). “Generalidades sobre las “Novae” y el descubrimiento de Nova Puppis, 1942, por el Dr. Dawson”. *Revista Astronómica*. Tomo XIV, Nun. VI, p. 327.



Tres intentos fallidos para determinar la órbita de Marte

Sandra Lorena Ponce*

Resumen

Una de las características más llamativas de *Astronomía Nova* es que hace a los lectores testigos de los logros, pero también de las dificultades que tuvo Kepler para llegar a las dos primeras leyes. En el capítulo 40, Kepler enuncia la ley de las áreas que será fundamental para los desarrollos que siguen. A partir de suponer una órbita circular, determina el diámetro, el centro, la excentricidad y la línea absidal. Luego, asumiendo la bisección de la excéntrica y la ley de las áreas como ciertas, encuentra errores en las longitudes de Marte. Concluye que el error provino de suponer una órbita circular. A partir de este resultado se propone encontrar la verdadera trayectoria de Marte y describe tres intentos, dos de los cuales resultan fallidos. Kepler finalmente determina la forma de metopoide para la órbita de Marte, asumiendo y combinando la hipótesis vicaria y la trayectoria oval, ambas falsas.

Palabras clave: órbita de Marte, hipótesis vicaria, ley de áreas, órbita oval, metopoide.

Abstract

One of the most striking characteristics of *Astronomía Nova* is that it makes readers witness the achievements, but also the difficulties that Kepler had in arriving at the first two laws. In chapter 40, Kepler states the law of areas that will be fundamental for the developments that follow. Starting from assuming a circular orbit, he determines the diameter, center, eccentricity and apsidal line. Then, assuming eccentric bisection and the law of areas to be true, he finds errors in the longitudes of Mars. He

* Universidad Nacional Tres de Febrero, Argentina.

concludes that the error came from assuming a circular orbit. From this result he sets out to find the true trajectory of Mars and describes three attempts, two of which are unsuccessful. Kepler finally determines the metopoid shape for the orbit of Mars, assuming and combining the vicarious hypothesis and the oval trajectory, both false.

Keywords: Mars orbit, vicarious hypothesis, area law, oval orbit, metopoid.

I. Introducción

Astronomía Nova es la obra en la que Kepler desarrolla sus dos primeras leyes. La particularidad de este tratado es la presencia de indicios de la construcción de dichas leyes. El mismo Kepler expuso las marchas y contramarchas de su razonamiento y los fracasos parciales de su investigación. El presente trabajo se propone hacer un recorrido de los desarrollos que llevaron a Kepler a definir una primera aproximación a la órbita de Marte, presentada en el capítulo 46 de Astronomía Nova. Su intención era, a partir de las causas físicas del movimiento planetario, seguir un camino geométrico para definir la forma que determina la trayectoria del Marte. Para ello considera los resultados que fue encontrando a lo largo de los capítulos 16 a 45 y se apoya en un sistema heliocéntrico pero con las consideraciones ptolemaicas del punto ecuante. En el capítulo 16 expone un método para hallar el centro del círculo planetario sobre el cual se encontrarían las posiciones del planeta (en este caso, la Tierra). Este método ofrece posiciones zodiacales (ángulos) correctos, pero las distancias al Sol no se corresponden con las observadas. En el capítulo 32 se establece la proporcionalidad inversa entre la distancia al Sol y la velocidad del planeta. Los capítulos 33 a 39 describe los rudimentos de una teoría magnética (que luego completará en el capítulo 57). En los capítulos 41 a 43 siembra la sospecha de una órbita no circular hasta que en el capítulo 44 ofrece dos argumentos para defender la afirmación de que el planeta se desvía de una trayectoria circular. En el capítulo 45, mediante la consideración de un movimiento compuesto con un epiciclo, llega a la conclusión de que la trayectoria de Marte describe un óvalo. La estrategia de este trabajo consiste en hacer un análisis de los resultados parciales de Astronomía Nova que van configurando el argumento que le permite a Kepler definir la ór-

bita de Marte. Omitiendo los cálculos complejos que se encuentran en la obra, se expone el camino que lleva la trayectoria circular a un metopoide.

II. La hipótesis vicaria

En el capítulo 16 Kepler describe un método para hallar la posición del planeta en un tiempo determinado. Su objetivo era resolver el problema del movimiento variable, es decir, el hecho de que el planeta recorría arcos iguales en tiempos distintos. Este problema, conocido como primera anomalía, ya había sido tratado por Plomeo en el *Almagesto*. La estrategia ptolemaica se apoyó en un punto imaginario dentro de la excéntrica, el punto ecuante, alrededor del cual se traza una circunferencia cuyos arcos representan el tiempo que demora un planeta en recorrer un arco determinado de la trayectoria. El centro de la trayectoria del planeta era el punto medio entre el ecuante (D) y el observador (E) o centro de la Tierra [Fig. 1]. Esto se conoce como la bisección de la excéntrica.

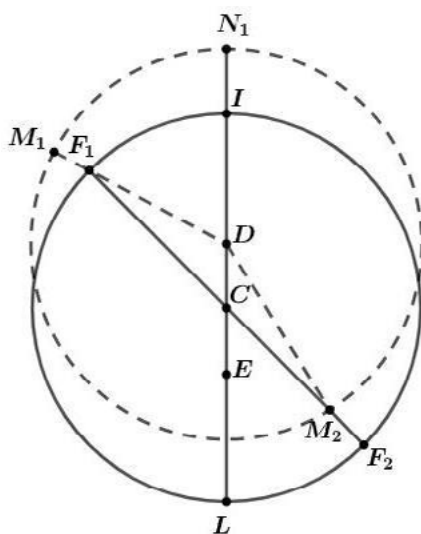


Figura 1.

El planeta que recorre el arco IF_1 demora un tiempo que está determinado por el arco N_1M_1 . Sin embargo, recorrer un arco LF_2 congruente y opuesto al anterior, le lleva un tiempo menor representado por el arco N_2M_2 . Ptolomeo no ofreció causas físicas que lo llevaran a bisecar el segmento DE para encontrar el centro de la trayectoria del planeta (Kepler, 2015 p.47).

Kepler se propone encontrar el centro de la trayectoria planetaria a partir de consideraciones físicas, pero adoptando la teoría heliocéntrica copernicana. Para ello mantiene el supuesto de que la trayectoria del planeta es un círculo perfecto y adopta la hipótesis del punto ecuante de Ptolomeo. En algún punto C entre el punto ecuante (D) y el centro del Sol (A) se encuentra el centro del círculo planetario. Kepler decidió no asumir la bisección de la excentricidad, a pesar de haber encontrado en su *Mysterium*, una causa física para sostenerla. Así, apoyándose en observaciones, calculó las excentricidades e_1 y e_2 que son las distancias que C guarda con A y con D , respectivamente. En la figura 2 podemos observar la diferencia de las dos excéntricas.

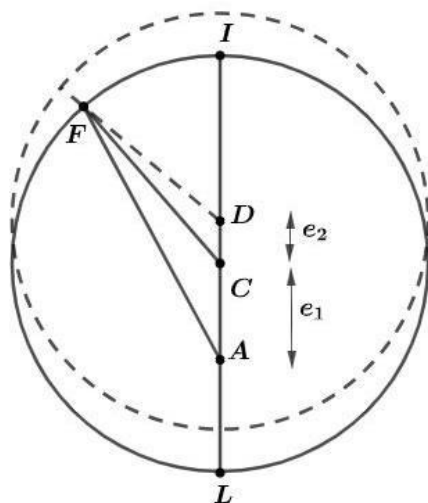


Figura 2.

Para calcular las excentricidades, Kepler consideró que eran necesarias cuatro oposiciones en lugar de las tres tomadas por Ptolomeo. Basado en estas observaciones, elaboró un método de cálculo, considerado por él mismo como tedioso, que arrojó los valores $e_1 = 0,11332$ y $e_2 = 0,07232$, considerando $R = 1$ para el radio de la excéntrica [Fig. 2]. Estos resultados fueron confirmados por doce oposiciones más con un error máximo de, aproximadamente, $2'$. La órbita planetaria a partir de este método no daba, sin embargo, las distancias correctas entre el planeta y el Sol (AF). No podía tratarse de la órbita verdadera. Kepler llamó hipótesis vicaria a la excéntrica hallada en contraposición con la hipótesis física (verdadera) que buscaba (Aiton, 1975 p. 254).

III. La trayectoria oval

Los capítulos 33 a 39 describen los rudimentos de la teoría magnética de Kepler que será completada en el capítulo 57 de *Astronomía Nova*. En esos capítulos se expone la influencia de la fuerza motora que el Sol tiene sobre los planetas los cuales, a su vez, cuentan con una fuerza propia. Kepler pudo justificar la variación inversa de los tiempos con la distancia del planeta al Sol a partir de una fuerza que emana de él (Aiton, 1975, p. 576). En el capítulo 39 Kepler muestra que no es posible dar una causa física para afirmar que la trayectoria del planeta es un círculo perfecto. Se trata del producto de la composición de dos movimientos circulares. El primero generado por la propia fuerza del planeta que lo mueve en un epiciclo y el segundo generado por la fuerza del Sol que atrae al planeta y mueve al centro del epiciclo en un círculo perfecto.

El capítulo 44 ofrece dos argumentos para sostener la no circularidad de la órbita de Marte. El primero consiste en tomar tres observaciones con las cuales define una órbita circular, y comparar las posiciones con las obtenidas empíricamente. Encuentra que los valores son siempre menores, la diferencia es mayor hacia las cuadraturas. El segundo argumento se basa en la ley de las áreas la cual establece la proporcionalidad entre el área que barre el planeta desde C y el tiempo que le lleva llegar a esa posición. Sin embargo, encuentra que el tiempo hacia las cuadraturas es menor, por lo tanto, el área es menor y la figura que describe el recorrido debe ser más angosta a los lados y debe estar circunscrita al círculo presupuesto.

Al comienzo del capítulo 45, Kepler afirma que la comprensión de la naturaleza es tan maravillosa como ella misma y que por eso se dedicará a detallar las causas naturales de la desviación del círculo. Este desarrollo es necesario para la comprensión de dichas causas, a pesar de la dificultad que pueda significar al lector. A partir de este capítulo y hasta el 50, se resuelven los errores provenientes de suponer la órbita circular.

Según el capítulo 39, para describir un círculo perfecto, el planeta se apartaría de la fuerza ejercida por el rayo AC por su propia fuerza motriz. Este movimiento genera un epiciclo a partir del cual el planeta regula sus posiciones para lograr una órbita circular. Para describir este círculo perfecto, el segmento determinado por la posición del planeta y el centro del epiciclo debe ser paralelo al segmento AB. Esto sucede solo si, cuando el rayo AC llega a γ , el planeta se mueve de γ a D. La velocidad de este movimiento no es uniforme: cuanto mayor sea el rayo menor es la distancia que debe recorrer el planeta.

Sin embargo, a Kepler le pareció absurdo que el planeta, al moverse de γ a D a velocidad no uniforme, se desprendiera del rayo de energía del Sol y se re-acomode por su propia fuerza. Para describir una órbita circular el planeta debe acelerar manteniendo la línea ND paralela a AB [Fig. 3]. Sabiendo que el planeta describe un óvalo en vez de un círculo, tal como se demostró en los capítulos 39 a 44, se hace necesaria una explicación física.

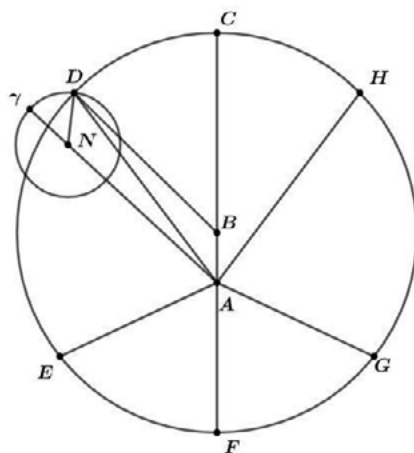


Figura 3.

William H. Donahue (1996, p. 281) sostiene que la hipótesis de la órbita ovalada fue formulada siete años antes de la publicación de *Astronomía Nova*.

Para evitar el absurdo expuesto en el párrafo anterior, Kepler propone que el rayo AC viaje con velocidad variable mientras que el planeta se mueve de manera uniforme de γ a D. Así el planeta ubicado en D no permanecerá en el círculo que comenzó a describir desde C, sino que se inclinará hacia la línea absidal a medida que se llega a las cuadraturas. Esta situación se debe a las observaciones que muestran que el diámetro del epiciclo está inclinado en las longitudes medias: ND no permanece paralelo a AB. Si N y γ se mueven uniformemente alrededor de A y de N, respectivamente, DN se mantendría paralela a AB. Pero esto no sucede.

Se confirma, entonces lo argumentado en el capítulo 44, la figura está circunscrita a la circunferencia CF. Además, las ecuaciones físicas calculadas indican que el planeta debería ir más rápido a los lados de la excéntrica, es decir, que su distancia al Sol será menor en cuadraturas. Este “achataamiento” de la órbita es producto de dos movimientos: el que ejerce la fuerza motriz del Sol y el esfuerzo del planeta por describir partes iguales en tiempos iguales. Sin embargo, la fuerza del sol acelera al planeta cuando la distancia que los separa es más corta. Así, las distancias en arcos iguales del epiciclo se acumulan cerca del afelio C y del perihelio F y están más dispersas en las cuadraturas.

En resumen, el capítulo 45, basado en las consideraciones magnéticas del capítulo 39, llega de manera concluyente a que la órbita de Marte es ovalada. En el capítulo 46 Kepler intenta determinar las posiciones del planeta para determinar cuál es la figura que realmente describe el planeta. Expone tres intentos de los cuales dos resultan fallidos. Estos fracasos se deben a la insistencia en encontrar un camino geométrico para hallar la órbita del planeta. Al no lograrlo se resigna a asumir una combinación de hipótesis falsas de las que resulta la figura buscada.

IV. Tres intentos para determinar la órbita de Marte

IV.1 Primer intento

Se considera la excéntrica bisecada que representa la trayectoria del planeta considerada circular y el círculo ecuante que determina el tiempo que le

toma al planeta ir de un punto a otro de su órbita [Fig. 4]. En el capítulo 32 se demostró que el tiempo es al arco de trayectoria correspondiente como la distancia del planeta al Sol es a la distancia del planeta al centro de la excéntrica.

$$\frac{\text{arco de tiempo}}{\text{arco de trayectoria}} = \frac{\text{distancia del planeta al Sol}}{\text{distancia del planeta al centro de la excéntrica}}$$

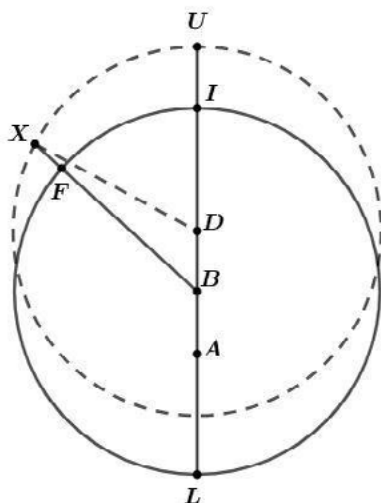


Figura 4.

Sea D el punto ecuante, UX el arco de tiempo, IF el arco de trayectoria y los segmentos AI y BI las distancias al Sol y al centro de la excéntrica respectivamente, se obtiene con base en la figura

$$\frac{\text{arco de tiempo}}{\text{arco de trayectoria}} = \frac{\text{arco UX}}{\text{arco IF}} = \frac{AI}{BI}$$

$$\frac{BI}{\text{arco}IF} = \frac{AI}{\text{arco}UX}$$

Pero dado que el arco UX representa al tiempo, puede expresarse BI/AI es una constante, por lo tanto el arco IF resulta una medida

$$\frac{BI}{\text{arco}IF} = \frac{AI}{t}$$

$$\text{arco}IF = \frac{BI}{AI} \cdot$$

adecuada del tiempo. Es importante aclarar que Kepler considera que una cantidad mide algo cuando dichas magnitudes son proporcionales. Sin embargo, dada la fuerza que ejerce el Sol sobre el planeta, la trayectoria del planeta no está determinada por el arco IF.

G representa algún punto a una distancia AF que se encuentra inclinado hacia la línea absidal debido a la atracción del planeta al Sol [Fig. 5]. La fuerza que ejerce dicha atracción acelera al planeta de modo que se mueve más lentamente cerca del afelio y más rápido cerca del perihelio.

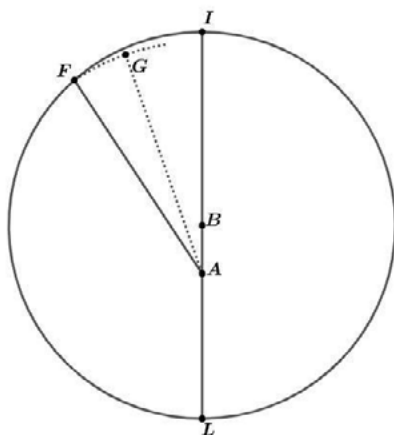


Figura 5.

En la figura 6 se divide la excéntrica en arcos de 1° se generan distintas posiciones sobre el círculo a las que se denominarán F_i . Los arcos determinados por estas divisiones cumplen con la siguiente condición

$$\frac{\text{arcol} F_i}{\text{arcol} G_i} = \frac{AF_i}{BF_i}$$

Pero esto sucede tanto con los arcos de 1° como con arcos correspondientes a un ángulo de amplitud α . Si dicho ángulo resulta de la suma de ángulos de 1° se tiene que

$$\frac{\text{arcol} F_i}{\text{arcol} G_i} = \frac{\Sigma AF_i}{\Sigma BF_i}$$

Tanto la suma ΣAF_i como ΣBF_i están contenidas en las áreas que determina cada distancia con el arco correspondiente.

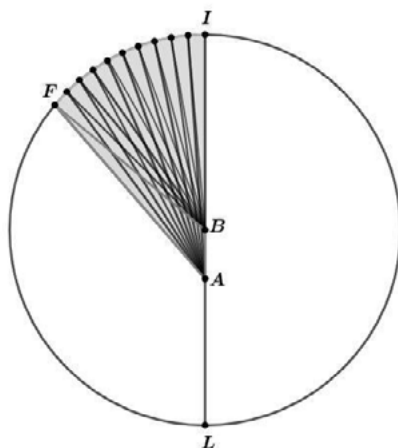


Figura 6.

Por lo expuesto en el capítulo 40, el área IAF mide el tiempo y puede establecerse la siguiente igualdad

$$\frac{arcolF}{arcolG} = \frac{\acute{arealAF}}{\acute{árealBF}}$$

$$arcolF \cdot \acute{árealBF} = arcolG \cdot \acute{árealAF}$$

Habíamos dicho que el arco IF era una medida adecuada del tiempo, por lo tanto, el área IBF también lo es:

$$arcolF = cte_1 \cdot \acute{árealBF} = cte_2 \cdot tiempo$$

$$arcolF = \frac{cte_1 \cdot arcolG \cdot \acute{árealAF}}{arcolF}$$

$$(arcolF)^2 = cte_1 \cdot arcolG \cdot \acute{árealAF}$$

El producto del arco IG y el área IAF es una medida del cuadrado del tiempo. Con la ecuación resultante podría encontrarse el valor numérico del arco IG. Pero lo que Kepler necesita es la posición del punto G, para ello es necesario un método geométrico y no algebraico. Debería existir la posibilidad de construir un sector FBG que resulte equivalente al triángulo FAB. Por otra parte, si bien en el capítulo 40 se enuncia la ley de las áreas como herramienta de cálculo, la suma de las distancias no es exactamente igual al área que las contiene, aunque en el capítulo 43 Kepler muestra que la diferencia es mínima.

IV.2 Segundo intento

Se vuelve a separar a la excéntrica en arcos de 1° , lo que determina los puntos F. El planeta está en algún lugar G, de modo que AG es igual a AF. A partir de los tiempos determinados por cada arco IF se puede calcular la distancia AF correspondiente. El objetivo es encontrar las posiciones G a partir del ángulo FAG.

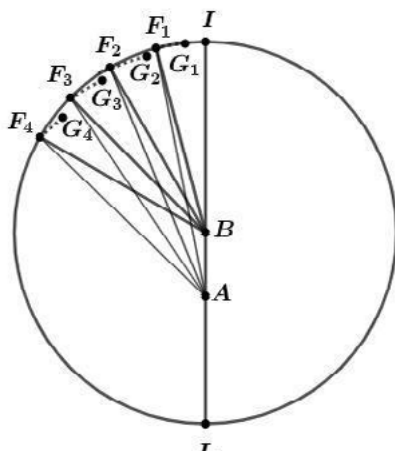


Figura 7.

Sabemos, por el capítulo 40, que el área que se extiende entre el arco de la verdadera trayectoria IG y el Sol, también determina la medida del tiempo que le toma al planeta recorrer dicho arco. Las áreas IAF contienen a los sectores IBF. Si se considera el punto N, intersección entre AG y FB, al sustraer el área GNF de IBF y unirle el área BNA, se obtiene el área que barre el planeta desde el Sol en la trayectoria IG [Fig. 8 y Fig. 9].

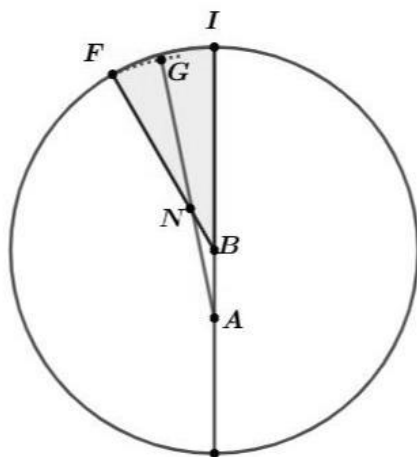


Figura 8.

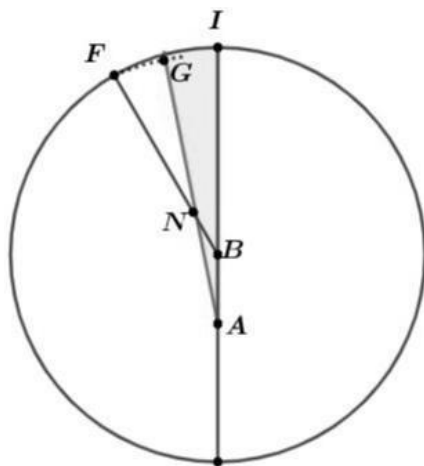


Figura 9.

Dado que la suma de las distancias desde A también determina el tiempo, podemos reemplazar a los sectores IBF por las áreas IAG en la proporción

$$\frac{\text{sector } IBF_1}{\text{sector } IBF_2} = \frac{\text{arc } IF_1}{\text{arc } IF_2}$$

por lo tanto

$$\frac{\text{sector}IAG_1}{\text{sector}IAG_2} = \frac{\text{arcol}F_1}{\text{arcol}F_2}$$

Pero pedir esta igualdad sería demasiado fuerte. Para que las proporciones se mantengan no es necesario que las componentes sean iguales, es suficiente con que N corte a BF_2 y a AG_1 en la misma proporción puesto que el sector IBF es el producto del área IAG multiplicada por una constante. En la figura 9 GV_1 y GV_2 son perpendiculares a FB y AG respectivamente, GV_1N y GV_2N resultan semejantes, por lo tanto

$$\frac{FN}{BN} = \frac{AN}{GN}$$

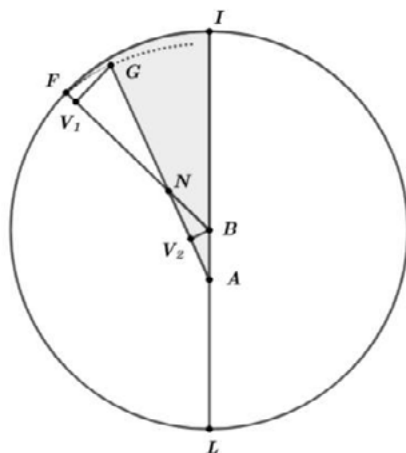


Figura 10.

Sin embargo, no es posible determinar la posición de N dado que no hay un método geométrico para cortar a un semicírculo en una razón dada con una recta trazada desde un punto dado del diámetro, en este caso, A . Tampoco existe, con las herramientas geométricas disponibles, un método confiable para saber si la diferencia entre los sectores IBF y las áreas IAG correspondientes están en la misma razón que el resto de los pares.

IV.3 Tercer intento

Los intentos anteriores exponen la imposibilidad de hallar la posición la forma correcta de la trayectoria de Marte deductivamente. Kepler se resigna a tomar un camino no geométrico. Se apoya en la hipótesis vicaria expuesta en el capítulo 16 que le permite calcular la posición zodiacal para un tiempo determinado. Sin embargo, las distancias obtenidas por este método no son correctas. Por lo tanto, es necesario considerar la conclusión del capítulo 45. Combinando en un diagrama ambas hipótesis, consideradas falsas por el propio Kepler, intentará encontrar las posiciones de Marte en tiempos determinados.

La propuesta de la hipótesis vicaria consiste en considerar la excentricidad AD del punto ecuante tal como se hizo en el capítulo 16. La proporción encontrada en dicho capítulo para determinar el centro C de la excéntrica fue $AC = 11.332$ y $CD = 7.232$ para un radio de la excéntrica centrada en C de $CH = 100.000$. Se toma un ángulo conocido de la anomalía excéntrica (en este caso, IBF) que representa un tiempo determinado y se traslada dicho ángulo a la recta CH de modo que el ángulo IBF sea igual al ICH. Luego se traza el segmento AH. En el tiempo indicado la posición zodiacal del planeta está dada por el ángulo IAH. Así, el planeta se ubica sobre la línea AH. Sin embargo, la posición correcta no se encuentra en H, puesto que la división de AD en C y la excéntrica centrada en C son falsas, tal como se consideró en los capítulos 19, 20 y 42. La distancia AH es incorrecta [Fig. 11].

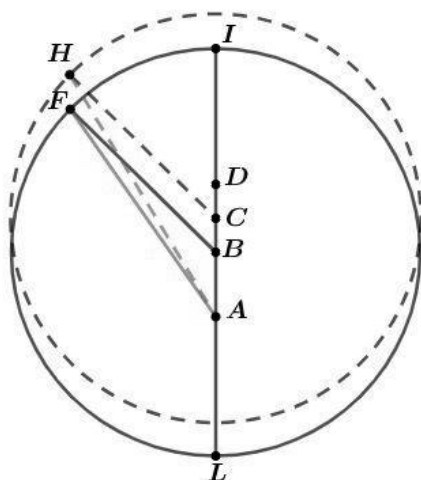


Figura 11.

En el capítulo 45 se asume la bisección de la distancia AD en B de modo que $AB = 9282$ y se traza, alrededor de B la excéntrica IL con radio igual a CH. Esta excéntrica también es ficticia ya que en el capítulo 44 se había argumentado en favor de una excéntrica ovalada. Sin embargo se divide la excéntrica considerada circular en arcos iguales determinando

los puntos $F_1, F_2, \dots, F_n$ y se trazan por D las paralelas a $BF_1, BF_2, \dots, BF_n$. Por cada punto F y con centro en A, se trazan los arcos FG, siendo G la intersección de dicho arco con la paralela a BF por D [Fig. 12]. Así la posición del planeta para cada tiempo dado por IBF, será el punto G. Pero estas posiciones se encuentran más atrasadas con respecto a las encontradas con la hipótesis vicaria [Fig. 13].

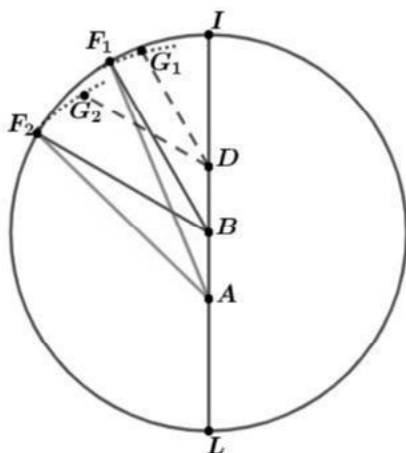


Figura 12.

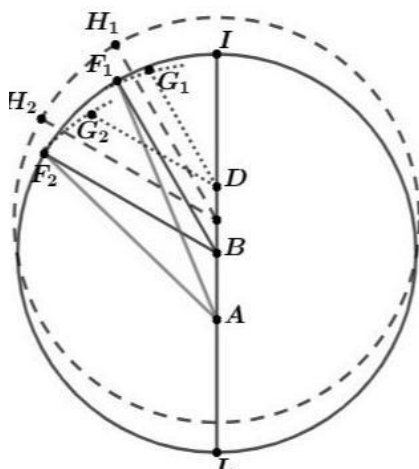
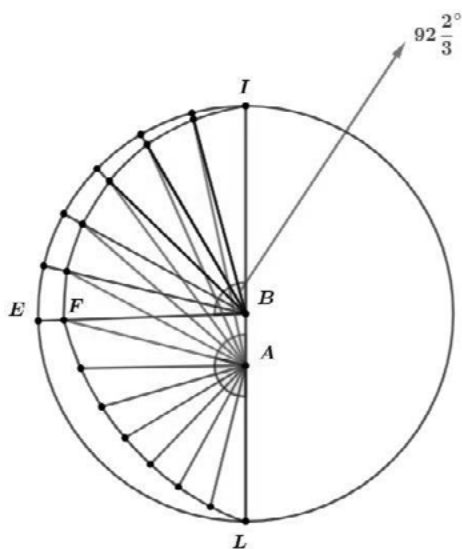


Figura 13.

Las posiciones del planeta están determinadas por los puntos P, intersección entre el arco de centro A y radio AF. Dichos puntos forman un metopoide, una figura ovalada que se acerca al círculo en las cercanías del afelio y se afina hacia el perihelio. Esta configuración responde al hecho de que el planeta en el afelio se encuentra más lejos del Sol y se mueve más lento. A medida que el planeta se mueve hacia el perihelio, se encuentra más influenciado por la fuerza motora del Sol y aumenta su velocidad al tiempo que se acerca a él. El cambio en la velocidad se debe al hecho de que las distancias largas (que exceden al semidiámetro) son más en cantidad y se extienden hasta los $92^{\circ} 40'$ de anomalía excéntrica en la cual la distancia del planeta al Sol iguala al radio de la excéntrica. Las distancias cortas son menos en cantidad y están contenidas en un ángulo de $87^{\circ} 20'$, en el cual la distancia del planeta al Sol iguala al radio de la excéntrica.

**Figura 14.**

Sin embargo, el ángulo IAF en el cual se distribuyen las distancias mayores, es menor al FAL en el que se distribuyen las menores. Por lo tanto las primeras, más cercanas al afelio estarán más juntas y las segundas, cercanas al perihelio, más dispersas.

V. Consideraciones finales

Kepler comienza por considerar, para el movimiento de Marte, una órbita circular en concordancia con los antiguos. Una primera aproximación se encuentra en la hipótesis vicaria expuesta en el capítulo 16 de *Astronomía Nova*, pero las distancias al Sol encontradas por este método no se correspondían con las observadas. Sin embargo, los ángulos que determinaban las líneas sobre las cuales se encontraba el planeta resultaban correctos. Más adelante, expone las consideraciones físicas provenientes de la primera aproximación a su teoría magnética de los capítulos 33 a 39. En el capítulo 40 enuncia la ley de las distancias y la ley de las áreas, esta última resulta solo una herramienta para el cálculo, ya que las distancias son infinitas y no pueden sumarse todas. Todos estos resultados le permiten desarrollar, primero la sospecha y luego los argumentos del capítulo 44 que defienden la afirmación de que el planeta se desvía de la órbita circular y, en cambio se mueve describiendo un óvalo. En el capítulo 45 encontró un método para hallar las posiciones del planeta sobre una excéntrica bisecada que le permitió hallar buenos valores para las distancias al Sol, pero sobre ángulos incorrectos.

El objetivo de Kepler era encontrar geométricamente la trayectoria de Marte, pero a partir de las causas físicas del movimiento planetario. Para ello describe los tres caminos que ha recorrido, dos de ellos geométricos que no han logrado resolver el problema. En el tercer intento desafía al método deductivo de la geometría y combina la hipótesis vicaria y aquella ofrecida por el capítulo 45. Así se aseguró de obtener distancias correctas del planeta al Sol sobre los ángulos correspondientes. Con este método no geométrico logró construir la primera aproximación a la órbita de Marte: el metopoide.

Kepler intentó por todos los medios que le fue posible llegar a sus resultados a partir de un método geométrico, pero esto no fue posible y priorizó resolver el problema que lo ocupaba. Así, combinó dos hipótesis falsas para lograr un resultado verdadero. Si bien esto puede parecer una

transgresión en su trabajo, no es algo inusual en su obra. En la primera parte de *Astronomía Nova*, Kepler combina dos teorías planetarias rivales: la teoría heliocéntrica de Copérnico y la teoría con punto ecuante de Ptolomeo. Su objetivo final siempre fue llegar a los resultados a partir de las causas físicas de los fenómenos sin perjuicio de servirse de todos los aportes de sus predecesores tomando, de cada uno, aquellas afirmaciones e hipótesis que sirvieran a tal fin.

Referencias

- Aiton, E. J. (1975). How Kepler Discovered the Elliptical Orbit. *The Mathematical Gazette*. Vol. 59, pp. 250-260.
- Aiton, E. J. (1975). "The elliptical orbit and the area law". *Vistas in Astronomy*. Vol. 18, pp. 573-583.
- Donahue, E. J. (1996). "Kepler's Approach to the Oval of 1602, from the Mars Notebook". *Journal for the History of Astronomy*. Vol. 27, pp. 281-295.
- Kepler, J. (2015). *The New Astronomy* (W. Donahue, trad.). Santa Fe, New Mexico: Green Lion Press.



Más allá de los patrones y las correlaciones: de los datos al *understanding*

Julián Reynoso*

Andrés A. Ilcic‡

Resumen

El foco de este trabajo está puesto en la manera en la que el concepto de “dato” es caracterizado, dado que es una noción que se utiliza como “primitiva”, en tanto rara vez es trabajada, pero al mismo tiempo pareciera cargar con una gran responsabilidad. Un dato, por sí solo (aislado), es incapaz de proveer información o nuevo conocimiento, sino que debe ser considerado en la constelación de herramientas (tanto teóricas como informáticas) en las que nace y se puede interpretar. De esta manera, un dato adquiere significado solo cuando se sitúa dentro de un conjunto más amplio de instrumentos y conceptos que facilitan su comprensión, permitiendo que emerja un conocimiento útil y significativo. Sin este contexto, el registro queda reducido a un elemento sin mayor relevancia o capacidad explicativa.

Palabras clave: Dato, comprensión, patrones, modelos.

Abstract

The focus of this paper is on the way in which the concept of ‘data’ is characterised, given that it is a notion that is used as ‘primitive’, in that it is rarely worked with, but at the same time seems to carry a great responsibility. A piece of data, on its own (in isolation) is incapable of providing information or new knowledge, but must be considered in the constellation of tools (both theoretical and informational) in which it is born

* Universidad Nacional de Córdoba - Instituto de Humanidades – CONICET

‡ Universidad Nacional de Córdoba - Instituto de Investigaciones Filosóficas – CONICET/ SADAFA

and can be interpreted. In this way, a piece of data acquires meaning only when it is placed within a broader set of tools and concepts that facilitate its understanding, allowing useful and meaningful knowledge to emerge. Without this context, the record is reduced to an element without greater relevance or explanatory capacity.

Keywords: Data, understanding, patterns, data travel, models.

I. Introducción

El interés por lo que se constituye como “dato” ha sido una preocupación relativamente reciente para la filosofía de las ciencias dado que el interés estuvo centrado, por lejos, en la compleja relación entre teorías, modelos, y aquello que pretenden explicar, representar o, en definitiva, dar cuenta. Al desenmarañar ese nudo han ido surgiendo nuevas preocupaciones que permitieron sofisticar la caracterización de las prácticas científicas contemporáneas y la noción de dato es una de ellas. A los efectos de este trabajo, ensayaremos una periodización para ordenar la discusión, cuyos criterios son enteramente arbitrarios. Tomaremos como eje la idea del “cuarto paradigma” de la investigación que propusiera Jim Gray según el cual el impacto de las tecnologías de la información ha causado un cambio profundo en la manera de hacer ciencia.

El “diluvio de datos” al que se enfrentan investigadores en un gran porcentaje de las áreas de investigación obliga a desarrollar técnicas, infraestructura y metodologías para garantizar la confiabilidad del conocimiento producido. El trabajo en filosofía de las ciencias, durante la primera mitad del siglo XX, estuvo marcado fuertemente por los postulados del positivismo lógico cuya piedra de toque estaba en el estudio de las teorías científicas y de qué manera era posible establecer relaciones entre los enunciados con contenido empírico a la estructura axiomática a la que las teorías debían aspirar. Los datos, para dicha escuela, podían ser enteramente capturados por los llamados “enunciados observacionales”, que luego podían ser introducidos a la axiomática garantizada por la lógica.

En ese marco, la noción de dato no resultó de particular interés para los filósofos de la ciencia, sino que el concepto de explicación recibió más atención, en tanto permitía dar cuenta del *porqué* de determinados fenómenos, bajo parámetros muy concretos de cómo se produce tal explica-

ción. No realizaremos un recorrido exhaustivo por las transformaciones que experimentó la disciplina, pero baste señalar que, a medida que se fue sofisticando la comprensión sobre las prácticas científicas, afloró un gran conjunto de problemáticas y nociones que no habían sido tratadas anteriormente.

Lo que nos ocupa en el presente trabajo es, por lo tanto, delinear algunas características de la noción de dato que opera en el marco de las prácticas científicas contemporáneas, con especial atención a la astronomía. Su largo y rico historial en la acumulación de registros y observaciones que han servido para apuntalar y acunar una multitud de hipótesis y teorías. En la actualidad, el despliegue de infraestructura computacional ha permitido la captura y procesamiento de cantidades inconcebibles de registros. Tomaremos, a modo de ejemplo, un estudio reciente que llevó a cabo Suárez (2023) sobre avances en el campo de la astrosismología, una especialidad de la astrofísica ocupada de la estructura interna de las estrellas.

En este sentido, podemos señalar que la noción de “dato” cobró una gran relevancia a principios de la segunda década del presente siglo, cuando coincidieron en la esfera pública una serie de desarrollos e innovaciones que habían conseguido cierta inercia en las dos o tres décadas previas. Factores tales como el aumento en la capacidad de cómputo de los equipos disponibles, a un precio más accesible; junto con la disminución del costo de almacenamiento y la digitalización facilitada por la ubicuidad de los dispositivos de captura y registro en ámbitos tan diversos como las ciencias, la industria, el comercio y hasta nuestra propia vida cotidiana¹ confabularon para permitir el surgimiento de fenómenos *data-driven*, una multiplicidad de manifestaciones, procesos y técnicas cuya particularidad radica en “ser guiadas por datos”². Existen numerosos ejemplos, como son las “ciencias *data driven*”, procesos de toma de decisiones *data driven* y hasta estrategias *data driven* para el deporte y la política. Todo este abanico de manifestaciones se agrupó bajo el término *big data*, aunque esa expresión perdió algo de tracción en los últimos años. La noción de dato, sin embar-

1 Puede pensarse en la cantidad de dispositivos biométricos que registran pasos, pulsaciones, respiraciones y hasta calidad de sueño que usamos a diario (por no mencionar también dispositivos estrictamente médicos como medidores de glucosa o de tensión sanguínea).

2 Ver Patil y Mason (2015).

go, parece haber quedado sepultada bajo este “diluvio” que abrigó un fuerte optimismo en torno a las posibilidades que estos desarrollos facilitarían.

Pese a la enorme cantidad de bibliografía que existe sobre estas tendencias, sin embargo, no parece haber recibido mucha atención a qué se denomina “dato”. La propia noción, sin embargo, dificulta a tal análisis puesto que parece ser algo elusiva: resulta difícil echar luz a qué es un dato sin inmediatamente considerar el entramado de relaciones en las que se enmarca. En otras palabras, no resulta sencillo hablar de qué es un dato sin hablar acerca de lo que ese dato “refiere”. Tal como mencionamos anteriormente, la computarización y digitalización despertó una serie de cambios fundamentales en la manera de hacer ciencia, con efectos diferentes en los múltiples campos que fueron afectados y la astronomía no estuvo exenta de tales modificaciones. El paso de las computadoras de ser simples máquinas auxiliares para realizar cálculos complejos en menor tiempo, a ser dispositivos capaces de simular fenómenos para su estudio significó la posibilidad de explorar y aumentar el espectro del campo de estudio. Esta transformación fue fundamental en campos como la astronomía y las ciencias de la atmósfera, disciplinas en las que es prácticamente imposible intervenir experimentalmente de manera directa y la observación de determinados fenómenos puede llegar a ser prohibitiva por las escalas temporales involucradas.

II. Datos sobre los datos

Resulta ineludible dar comienzo a esta sección haciendo un rastreo casi etimológico de la noción dado que es un término con una larga historia, aunque sus acepciones han ido variando con el correr de las épocas. Luego rescataremos algunas características significativas de la noción de dato a partir de los aportes de quienes identificamos como pilares en el estudio de esta problemática. Esto nos permitirá, en la sección siguiente, ilustrar con un ejemplo a partir del trabajo que realizó Mauricio Suárez sobre la misión CoRoT.

II.1 Breve perspectiva histórica

Dado el foco de la investigación, de la que el presente trabajo forma parte, dejaremos de lado la discusión ontológica que puede surgir de inmediato al leer la pregunta que encabeza esta sección. En definitiva, no nos detendremos en la discusión sobre el estatus ontológico de los datos, sino que intentaremos caracterizarlos de manera tal que permita entender la forma en la que la noción existe hoy en las prácticas científicas. La literatura en español no es abundante, sin embargo, tanto “dato” en español como su contraparte anglosajona “*data*” comparten un origen en común en el Latín *datum*, “lo dado”.³ En idioma inglés, en cambio, podemos encontrar el trabajo de Rosenberg (2013) en el que hace un rastreo del uso de la noción de *data* hasta las *Lectures on History and General Policy* de Priestley (1788) en el que se refiere a los hechos de la historia como “datos”. Rosenberg señala que en el contexto de las *Lectures* este uso resulta completamente natural, pese a que pareciera significar lo contrario a lo que hoy entendemos como dato, más ligado con los avances burocráticos y estadísticos del siglo XIX y los desarrollos en informática del siglo XX. Rosenberg señala que el término aparece en una gran variedad de contextos a lo largo del siglo XVIII, en un sentido similar al que emplea Priestley. Rosenberg emprende una breve recorrida por la etimología de la familia de vocablos que parece estar tan íntimamente relacionada: datos, evidencia y hechos: *datum* viene de *dare*; evidencia de *videre* y fact de *facere*. De allí, el autor concluye que “los hechos son ontológicos, la evidencia epistemológica y los datos son retóricos” Rosenberg (2013, p. 18). Esto lleva al autor a señalar que un hecho, al ser falseado, deja de ser un hecho, pero los datos falsos siguen siendo datos.

Siguiendo el recorrido histórico, en el siglo XVII el término *data* se utilizaba en un sentido técnico para referirse a las cantidades dadas en un problema matemático concreto, en oposición a la *quaestio*, aquello que el problema intentaba responder. En filosofía natural se empleaba en un sentido similar, para referir la categoría de hechos y principios que estaban fuera de discusión. Un sentido similar se retuvo en teología, al referir a las verdades provenientes de las Escrituras. Rosemberg señala que, en la filosofía natural del siglo XVII -y tal como sucedía en teología o en ma-

³ *Datum* es el participio pasado del verbo *Dare*, “dar” en español.

temáticas- la noción de *data* identificaba una categoría de hechos y principios que no eran pasibles, por convención, de ser puestos en cuestión.

Para rastrear el uso del término *data* en idioma inglés Rosenberg utilizó un enfoque cualitativo con distintas herramientas con el objetivo de dar cuenta del uso que hizo Priestley. Sus principales fuentes fueron el “Visor de *Ngram*” provisto por Google Books y la *Eighteenth Century Collections Online*, un repositorio digital de volúmenes publicados en Gran Bretaña durante el siglo XVIII. El autor concluye que, desde una perspectiva estadística, *data* no fue un término ni particularmente raro ni muy común en la literatura inglesa del siglo XVIII y fue ampliamente opacado en su uso por otros como *fact*, *evidence* y *truth*.

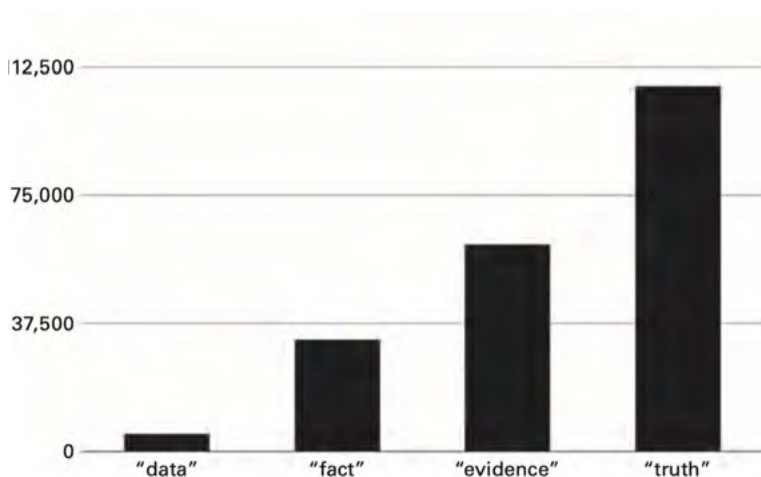


Figura 1. Fuente: Rosenberg (2013).

El término termina de establecerse hacia el siglo XVIII, pero hacia finales de este siglo se hizo patente una transformación y pasó de referir a cuestiones indiscutibles a referir a hechos evidenciados por experimentos, experiencias o recopilación: “Era habitual referirse a los datos como el resultado de una investigación y no como su premisa” Rosenberg (2013, p. 33). No fue hasta el siglo XX, con la aparición de las computadoras digitales y la teoría de la información que el concepto adquirió la importancia y

ubiquidad que tiene hoy, pero cuyas bases ya fueron sentadas en por el uso durante el siglo XVIII. Ese camino fue allanado en el siglo XIX mediante el desarrollo de métodos estadísticos para el procesamiento de los censos y la confección de anales estadísticos (cf. Hacking, 1991). Meyns (2019) emplea un método similar al de Rosenberg, pero circunscrito a las *Philosophical Transactions* de la Royal Society, con el mismo objetivo de mostrar cuando comienza a utilizarse el término *data* en la publicación. La historia, sin embargo, no terminaría aquí y con el advenimiento de avances en la estadística, la informática y la computación contribuyeron al “diluvio de datos” que caracterizará el cuarto paradigma de la investigación del que hablara Jim Gray.

II.2 Digitalización y datificación

Se ha llamado “datificación” al proceso mediante el cual “se cuantifica un fenómeno de manera tal de tabularlo y analizarlo”, y se le atribuye a un paneo que realizaron Mayer-Schönberger y Cukier (2013) sobre *big data* en distintas áreas. Según los autores, es un proceso que involucra mucho más que convertir materiales simbólicos en una forma digital. Hacking, sin embargo, ya había hecho referencia a esta cuestión allá por 1991 y señala como desde principios del siglo XIX, los incipientes estados-nación⁴ en Europa y América del norte no sólo comenzaron a llevar registros más puntillosos de su población, sino que también empezaron a hacerlos disponibles a la población en general, en forma de anuarios estadísticos y una avalancha de “números impresos” que fueron posibilitados por un desarrollo de nuevas técnicas y tecnologías para clasificar y enumerar a la población, como así también el desarrollo de dependencias burocráticas con la autoridad suficiente para el despliegue de estas tecnologías. Toda una infraestructura teórica y administrativa que permitió que la población sea contada y clasificada dentro de las nuevas categorías estadísticas. La digitalización de estos registros significó otro paso en el camino al procesamiento de los registros y la posibilidad de “accionar” sobre ellos al facilitar las operaciones de cálculo que se podían realizar sobre dichos registros.

4 Aquí podría pensarse también en una co-aparición entre estadísticas y estados.

II.3 Datos y fenómenos

Volcaré mi atención ahora a las discusiones más recientes en torno a la noción de dato en filosofía de la ciencia, foco de interés principal del presente trabajo. En tal sentido, el trabajo de Bogen y Woodward (1988) es central para comprender cómo la noción de dato aparece en el escenario en las discusiones en filosofía de las ciencias. Si bien en otras ramas de la filosofía, como en teoría del conocimiento, se trabajó extensamente la idea de dato en relación con los sentidos, en el sentido más técnico que se emplea actualmente aún no había aparecido. Para la presente sección tomaremos como base el artículo de 1988, pero es importante tener en cuenta que ese fue sólo el puntapié inicial de una discusión que sigue hasta el día de hoy⁵.

La tesis principal de Bogen y Woodward en el artículo de 1988 es bastante directa: las teorías científicas no proveen una explicación sistemática de los hechos acerca de los cuales hacen referencias los datos y las observaciones. Apuntan contra una versión ampliamente difundida a finales de los '80 según la cual las teorías científicas predicen y explican hechos (*facts*) acerca de “observables”, objetos y propiedades que pueden ser percibidos por los sentidos o aumentadas por el uso de distintos instrumentos. Los autores señalan que, si bien esta versión “positivista” de la labor científica ha sido abandonada en su mayoría, aún hay -incluso entre los críticos acérrimos al positivismo- quienes sostienen que la función principal de las teorías científicas es predecir y explicar afirmaciones acerca de lo que se observa. Han logrado esto al ampliar la noción de “observación” y “observabilidad”. Bogen y Woodward apuntan a mostrar que, si “observar” significa “percibir o detectar por medio de procesos que pueden ser entendidos como extensión de la percepción”, entonces las teorías científicas no suelen predecir ni explicar hechos sobre lo que observamos. Los autores afirman que la categoría de “observables” (y lo que no es observable por extensión) y las discusiones que se generaron en torno a la carga teórica de la observación son mucho menos centrales para comprender la actividad científica de lo que se suponía en aquel entonces.

5 Sólo porque las discusiones en filosofía no se terminan, sino que se dejan a un lado.

El argumento de los autores descansa en una distinción que hasta el momento había sido ignorada y que será crucial en el desarrollo posterior de este trabajo: la distinción entre fenómenos y datos. Aquí es que Bogen y Woodward estipulan una definición de dato que tomaré como base. Para ellos los datos se caracterizan por ser observados de manera más o menos directa y juegan el rol de evidencia para la existencia de los fenómenos. La contrapartida son los fenómenos, detectables a través de los datos, pero no observables en ningún sentido interesante del término. Bogen y Woodward comienzan con algunos ejemplos con los que pretendan ilustrar tal distinción. El primero trata sobre el descubrimiento de la Corriente Neutral Débil en 1973 a partir de dos experimentos llevados de manera independiente en el CERN y el NAL, un laboratorio de Fermilab. Los datos obtenidos en el CERN consistían en unas trescientas mil fotos de una cámara de burbujas, de las cuales unas 100 fueron consideradas como evidencia a favor de estas corrientes neutrales. En el NAL, por su parte, se registraron patrones de descargas en detectores de partículas electrónicos. De trescientos registros, se consideró que 8 eran evidencia de dichas corrientes. En otras palabras, ambos laboratorios encontraron datos distintos que apuntaban al mismo fenómeno.

Estos ejemplos los llevan a Bogen y Woodward a concluir que “Los datos son (...) idiosincráticos de contextos experimentales particulares, y normalmente no pueden darse fuera de esos contextos.” (1988, p. 317). ¿Por qué? Recordemos que Bogen y Woodward están preocupados en resaltar el carácter evidencial de los datos en tanto sirven para dar cuenta de fenómenos. En pos de rescatar tal carácter, para que un dato pueda servir como evidencia confiable (*reliable*) de la ocurrencia del fenómeno en cuestión, los autores señalan que es necesario tener en cuenta que la captura de ese dato es el resultado de un proceso altamente complejo y una “coincidencia inusual de circunstancias”⁶.

Bogen y Woodward señalan también que los datos deben ser “relativamente fáciles de identificar, clasificar, medir, agregar y analizar” (cf. 1988, p. 320) de forma tal que sean confiables y reproducibles por demás integrantes de la comunidad científica. Profundizaré sobre esta cuestión más adelante, pero por ahora basta con señalar que el tiempo no sólo les dio

6 El complejo proceso de captura, almacenamiento y procesamiento de datos será objeto de un trabajo posterior, pero ciertamente amerita una mirada más en detalle.

la razón, sino que ya había en funcionamiento una gran maquinaria destinada a fomentar la cooperación, el intercambio y la gestión de datos. La “tratabilidad” de los datos es otra de las características que los autores señalan como parte de su caracterización, como así también la necesidad el proceso de captura haya tenido un control adecuado para los distintos tipos de errores experimentales que puedan darse en el proceso.

En un artículo más reciente James Woodward redobla en la caracterización de dato que propusiera con Bogen en el ya mencionado artículo de 1988:

“Datos son registros públicos producidos por mediciones y experimentos que sirven de evidencia para la existencia de, o características de los fenómenos.” (Woodward, 2011, p. 166)

Es importante señalar nuevamente el carácter “subsidiario” que tiene la noción de dato aquí, relevante solo en tanto funciona como evidencia para el fenómeno en cuestión. Woodward vuelve a recordarnos también aquel carácter idiosincrático, que los datos capturados también reflejan la influencia de otros factores causales que nada tienen que ver con el fenómeno bajo estudio: “los datos son científicamente útiles e interesantes en tanto proveen información sobre características de los fenómenos” dice Woodward (2011, p. 168).

II.4 Vida y viaje de los datos

La discusión iniciada por Bogen y Woodward con su artículo de 1988 fue adquiriendo nuevas dimensiones a medida que los métodos y herramientas continuaron avanzando a un ritmo acelerado. A medida que los costos de almacenamiento y procesamiento computacional fue bajando, cada vez más investigadores tuvieron acceso a herramientas computacionales y explorar áreas del conocimiento que, de otra manera, hubieran permanecido lejanas e inaccesibles. Los cuadernos y bitácoras de investigación donde se registraban los avances fueron mutando a hojas de cálculo y bases de datos que dejaron de ser exclusividad de los grandes proyectos de *big science* y empezaron a estar a disposición de mayor cantidad de científicos. Como ya hemos mencionado, parte del interés en la noción de “dato” viene dada por esta transformación.



Sabina Leonelli ha sido una pionera en el análisis que significaron estos avances en las llamadas “ciencias de la vida”, cuyo trabajo se cristalizó en un libro publicado en 2016 en el que analiza en detalle la forma en la que se transformó la investigación en estas áreas del conocimiento a partir del influjo de herramientas. Su tesis principal, sin embargo, va en un sentido original contrario a la corriente más establecida. Para Leonelli, la fuente de innovación en la biología contemporánea es “la atención que se le presta al manejo y disseminación de los datos (...) en lugar del surgimiento del *big data* y los métodos asociados” (Leonelli, 2016, p. 8).

Leonelli entiende a los datos como “herramientas para la comunicación, cuya principal función es permitir intercambios materiales e intelectuales entre individuos, colectivos, culturas y naciones”. Aclara también que la movilidad de los datos entre estos grupos es un gran logro científico. La novedad de esta caracterización radica en el peso que Leonelli le pone a la posibilidad de compartir y poner en viaje a los datos, a diferencia de las caracterizaciones más tradicionales que se han enfocado solamente en la producción e interpretación de los datos. En este sentido, Leonelli añade que los datos son “artefactos materiales” cuyas características concretas (como el formato o el medio en el que se encuentran) son tan significativos como sus funciones conceptuales.

Esta caracterización, a la que la propia Leonelli llama “versión relacional” de los datos, tiene por particularidad definir a los datos en términos de la función dentro de procesos específicos en los recuentos de las investigaciones, y no en términos de propiedades intrínsecas. “Carece de sentido preguntarse cuales objetos cuentan como datos en abstracto” dice Leonelli, y añade “Esta pregunta sólo puede ser respondida haciendo referencia a situaciones concretas de investigación (...)” (Leonelli, 2016, p. 78)

Bis: datos sobre los datos

Señalaremos, entonces, algunas características que nos resultan significativas para una caracterización de la noción de dato, a la luz de los desarrollos más recientes. En primer lugar, consideramos que los datos no son meros registros ni surgen de un proceso simple de captura del mundo, sino que son un dispositivo mediante el cual *modelamos* el mundo. Son el producto de proceso mediados técnicamente, tanto por instrumentos y teorías, el resultado de procesos organizacionales, categorías y estándares

que suelen ser negociados y debatidos. Kitchin (2022, p. 33) agrega que hay un grado de “desprolijidad” en la generación de los datos: hay un proceso de ajuste, calibración y retroalimentación entre las distintas etapas de la producción de los datos que permiten ajustar de acuerdo con objetivos epistémicos. En segundo lugar nos parece relevante la consideración de Leonelli sobre los “viajes de los datos”, pero no sólo en el sentido de desplazamiento geográfico que facilita la colaboración entre distintos grupos e instituciones, sino también considerando el proceso mencionado en el párrafo anterior: dado que los datos pueden ser obtenidos de múltiples fuentes, lo que en una parte del proceso puede ser considerado un “resultado” (como puede ser el registro de una medición, el *output* de una simulación o un experimento) puede luego convertirse en *input* en otra instancia y ser considerado así también un “dato”. Por último, nos es ineludible plantear un parcial desacuerdo con la versión que plantean Bogen y Woodward según la cual parece haber una distinción tajante entre dato y fenómeno, dado que podría pensarse que hay una co-constitución entre ambos. En otras palabras, podríamos señalar que *dinos como has conseguido tus datos y te diremos que fenómeno tienes*.

III. Datos y comprensión

Señalábamos más arriba que la noción de explicación había recibido históricamente mayor atención por parte de la comunidad epistemológica. En los últimos tiempos, sin embargo, la noción de comprensión (*understanding*) comenzó a ganar terreno en las discusiones. Consideramos que tal noción ofrece un marco apropiado para integrar algunas de las discusiones que han surgido, como por ejemplo la imbricada relación que existe entre datos, modelos y teorías y el bucle de retroalimentación del cual parecemos obtener nuevo conocimiento, tanto de ellos mismos como de los fenómenos en cuestión.

La comprensión también se ha descuidado, aunque en menor medida, y muchas de las razones de este descuido se basan en las mismas razones históricas, a saber, no ser lo suficientemente «objetiva». Consideramos que la comprensión es un objetivo epistémico válido y deseable, que no entra en conflicto con otros, como proporcionar explicaciones, hacer predicciones o luchar por la adecuación empírica, por ejemplo. De hecho,

estos objetivos no sólo no entran en conflicto, sino que creemos firmemente que tienen el potencial de beneficiarse mutuamente.

Como todo concepto que los filósofos toman en consideración, la comprensión ha sido analizada e interpretada desde muchos ángulos diferentes. Para los propósitos del presente trabajo, nos basaremos en los trabajos de De Regt (2015) y Elgin (1993). Estos autores comparten, con nosotros y entre ellos, un objetivo común: defender la idea de que la comprensión tiene un valor epistémico distintivo.

Hemos identificado tres ideas centrales en sus planteamientos que nos permitirán avanzar en la idea de pericia científica:

1. En primer lugar, una caracterización no factual del conocimiento científico. De Regt sostiene que no es necesario plantear una relación intrínseca entre comprensión y verdad. En su opinión, es posible alcanzar una comprensión genuina de los fenómenos a través de modelos y teorías que desafían una interpretación realista. Elgin también argumenta en esta línea, su visión de la comprensión también es no factual y antirrealista, dado el papel que la idealización juega en la investigación, las teorías falsas pueden contribuir a avanzar en la comprensión científica.
2. En segundo lugar, pero relacionado con el primer punto, el éxito epistémico se evalúa en términos de objetivos epistémicos (y no en términos de factualidad del conocimiento). Esto significa que la comunidad científica, encargada de establecer los objetivos epistémicos que guían la investigación, desempeña un papel clave en su proceso, ideando métodos y estrategias para alcanzar dichos objetivos.
3. Y por último, pero no por ello menos importante, destacamos la idea de las capacidades. De Regt y Dieks caracterizan la comprensión en términos de lo que podemos hacer antes que de lo que podemos saber. Esto sitúa a los profesionales en el centro de la escena, de modo que la comprensión se refiere a sus estados epistémicos y no a las relaciones «objetivas» entre las leyes, las teorías y el mundo.

Así, podemos decir que, dada esta idea no factual del conocimiento científico, que plantea el éxito epistémico como una función de objetivos

epistémicos particulares, los expertos son aquellos que poseen ciertas habilidades para lograr sus objetivos, que pueden variar según la tarea y el dominio en cuestión. Consideramos que incorporar este enfoque como trasfondo de la investigación en curso nos permite reforzar una intuición que presentamos en Ilcic y Reynoso (2018):

“La ventaja epistémica de la postura que presentamos es que permite a los modelos teóricos funcionar como guías heurísticas al sondear los datos o el modelo de análisis de datos.”(Ilcic y Reynoso, 2018, p 191)

Incorporar a la comprensión científica nos permite también incorporar otros elementos al análisis, como el rol de la experticia (cf. Mondaca y Reynoso, 2020) y nos permite pintar un cuadro más completo de cómo dar cuenta de cómo se construye el conocimiento científico.

En tal sentido, el trabajo reciente de Suárez (2023) puede servir para ilustrar algunas de las consideraciones que hemos plasmado en este trabajo. En dicho artículo, el autor analiza con cierto nivel de detalle los resultados de la misión CoRoT (Auvergne et al., 2009), una iniciativa de la Agencia Espacial Francesa (CNES) en conjunto con la Agencia Espacial Europea (ESA) y otros socios internacionales (NASA entre ellos. Los dos objetivos de la misión eran buscar planetas extrasolares con periodos orbitales cortos, en particular los de gran tamaño terrestre, y realizar astrosismología midiendo oscilaciones similares a las solares en estrellas.

La preocupación del artículo de Suárez gira en torno a las condiciones que evitan la circularidad que podría producirse al emplear distintas capas de modelos “anidados” unos en otros al investigar la composición interna de las estrellas. El “anidamiento” se produce porque:

“(…) nuestros modelos de estrellas y su evolución son sensibles a otros modelos de interiores estelares estratificados, a modelos de la física de los materiales radiativos, a modelos de atmósferas estelares en astrofísica coronal, y a modelos de los modos de vibración que producen los datos astrofísicos que a su vez apoyan esos modelos.” (Suárez 2023, p. 112)

Según el autor nada en este «anidamiento» de modelos dentro de modelos puede servir para poner en duda la solidez del conocimiento obtenido sobre la física del interior de las estrellas. Sin embargo, en la cita del

párrafo anterior podemos observar la compleja red de modelos e instrumentos sobre la que se monta la producción del conocimiento científico. Sucede, dice Suárez (p. 121) “que las inferencias de los datos observados a los modelos de datos y las de estos modelos de datos al espacio de parámetros en los modelos teóricos son previsiblemente ricas en supuestos de modelización propios”, que a su vez determinan un rol crítico para determinar la calidad de los datos.

La misión CoRoT nos sirve también para rescatar otro aspecto señalado por Leonelli respecto a la importancia del empaquetamiento y disponibilización de los datos de investigación. Si bien la misión finalizó en 2013, hoy es posible acceder a los datos producidos por los satélites gracias al *Exoplanet Archive* que mantiene hoy el programa de Exploración de Exoplanetas de la NASA⁷ y que hoy gestiona un enorme repositorio de datos de investigación provenientes de múltiples misiones, como CoRoT, las curvas de Kepler y otros.

IV. Comentarios finales

Pocas ciencias gozan a la vez de una historia tan larga y rica y de un presente tan desafiante y vivo como la astronomía, por lo que ofrece campo por demás fértil para las reflexiones que hemos vertido en el presente artículo. Sabemos ya que dar cuenta del mundo es una tarea inmensamente compleja, ensayar explicaciones y formular teorías y modelos acerca de los fenómenos son algunas de las herramientas con las que contamos para la producción del conocimiento científico y esta actividad se ha enriquecido significativamente con el progresivo desarrollo de distintos sistemas tecnológicos en los que hemos podido “descargar” parte del trabajo cognitivo requerido. A su vez, el incorporar estos sistemas nos ha obligado a considerar también de qué manera producimos conocimiento y cuál es la relación entre las distintas mediaciones que aparecen en las diferentes etapas del proceso. La noción de comprensión que presentamos en la sección anterior nos habilita a ubicar estos pequeños bucles de reflexión sobre la propia práctica, no sólo científica sino también filosófica, sobre cómo construimos y por qué “confiamos” en los procesos que desembocan en nuevos *insights*. Ahora bien, un aspecto a tener muy presente es que la irrupción de métodos cada vez más automatizados para la detección de pa-

7 El repositorio se puede acceder en <https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu>.

trones en las bases de datos y el procesamiento en las primeras instancias de los flujos de trabajo que ocurren en la investigación no debe opacar la importancia de los agentes humanos en dicho proceso. Después de todo, aunque sea por ahora, la producción de conocimiento científico continúa siendo una empresa fundamentalmente humana, aunque concedemos que este tipo de ensamblajes cognitivos con fuerte participación de agentes no humanos obliga a tomar ciertos cuidados frente a determinadas afirmaciones.

Referencias

- Bogen, J., & Woodward, J. (1988). Saving the Phenomena. *The Philosophical Review*, 97(3), 303. <https://doi.org/10.2307/2185445>
- De Regt, H. W. (2015). Scientific understanding: truth or dare? *Synthese*, 192(12), 3781–3797. <https://doi.org/10.1007/s11229-014-0538-7>
- Elgin, C. Z. (1993). Understanding: Art and Science. *Synthese*, 95(1), 13–28. <https://www.jstor.org/stable/20117763>
- Hacking, I. (1991). *La domesticación del azar: La erosión del determinismo y el nacimiento de las ciencias del caos*. Gedisa.
- Illic, A. A., & Reynoso, J. (2018). Hacia una articulación de modelos: el caso de big data. In 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.
- Kitchin, R. (2022). *The data revolution: a critical analysis of big data, open data & data infrastructures* (Second edition). Sage.
- Leonelli, S. (2016). *Data-centric biology: a philosophical study*. The University of Chicago Press.
- Mayer-Schönberger, V., & Cukier, K. (2013). *Big data: a revolution that will transform how we live, work, and think*. Houghton Mifflin Harcourt.

- Meyns, C. (2019). "Data" in the Royal Society's Philosophical Transactions, 1665–1886. *Notes and Records: The Royal Society Journal of the History of Science*, 74(3), 507–528. <https://doi.org/10.1098/rsnr.2019.0024>
- Mondaca, S., & Reynoso, J. (2020). ¿La práctica hace a le expertx o le expertx hace a la práctica? In A. A. Ilcic, S. Mondaca, P. Torres, & A. N. Venturelli (Eds.), *30^a Jornadas de Epistemología e Historia de la Ciencia* (pp. 65–75). Editorial de la Facultad de Filosofía y Humanidades - UNC. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/jornadaehc/article/view/28681>
- Patil, D. J., & Mason, H. (2015). *Data Driven*. O'Reilly Media, Inc.
- Priestley, J. (1788). *Lectures on History and General Policy: To which is Prefixed, An Essay on a Course of Liberal Education for Civil and Active Life*. P. Byrne.
- Rosenberg, D. (2013). Data before the fact. In L. Gitelman (Ed.), *"Raw Data" is an oxymoron* (pp. 15–40).
- Suárez, M. (2023). Stellar structure models revisited: Evidence and data in asteroseismology. In N.
- Mills Boyd, S. De Baerdemaeker, K. Heng, & V. Matarrese (Eds.), *Philosophy of Astrophysics* (Vol. 472, pp. 111–129). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-26618-8_7
- Woodward, J. F. (2011). Data and phenomena: a restatement and defense. *Synthese*, 182(1), 165–179. <https://doi.org/10.1007/s11229-009-9618-5>



Edwin Hubble and Cepheids: Clinching the Case for Galaxies and Remaking the Andromeda Nebula

Robert W. Smith*

Resumen

El descubrimiento de Edwin Hubble de las estrellas variables cefeidas en la nebulosa de Andrómeda a finales de 1923 y 1924 se considera uno de los grandes descubrimientos de la astronomía del siglo XX. De acuerdo como se cuenta la historia, rápidamente el descubrimiento transformó nuestra galaxia, la Vía Láctea, en una de las innumerables galaxias que existen. En este artículo, sostengo que se deben interpretar los hallazgos de Hubble como una prueba fehaciente de la existencia de las espirales como galaxias, y que incluso el propio Hubble consideró que la detección de novae en 1917 en espirales, era posiblemente más significativa que sus cefeidas.

Palabras clave: *Edwin Hubble, V.M. Slipher*, galaxias, Galaxia de Andrómeda, variables Cepheidas

Abstract

Edwin Hubble's discovery of Cepheid variable stars in the Andromeda Nebula in late 1923 and 1924 is widely regarded as among the great discoveries of twentieth century astronomy. Quickly, so the story goes, the discovery transformed our Milky Way galaxy into one of a myriad of galaxies. I instead argue in this paper that it is better to interpret Hubble's finds as clinching the case for the spirals as galaxies, and that even Hubble himself regarded the detection of novae in spirals in 1917 as arguably more significant than his Cepheids.

* University of Alberta, Canada

Keywords: *Edwin Hubble, V.M. Slipher, galaxies, Andromeda Nebula, Cepheid variables.*

I. Introduction

On the 23rd of November 1924, the *New York Times* newspaper carried a story with the headline: “FINDS SPIRAL NEBULAE ARE STELLAR SYSTEMS. Dr. Hubbell [sic] Confirms View That They Are ‘Island Universes’ Similar to Our Own.” There followed a short account of how Dr. Hubble of the Carnegie Institution’s Mount Wilson Observatory had discovered 36 Cepheid variable stars in two of the great spiral nebulae, the Andromeda Nebula and Messier 33. Then, by applying the relationship between a Cepheid’s period and its intrinsic brightness, Hubble had secured distances to the two spiral nebulae of around 1,000,000 light years. Hubble’s results had been made possible by Mount Wilson’s “great telescopes,” the 60-inch and 100-inch reflectors that were powerful enough to resolve “the outer portions of the nebulae into swarms of stars, which may be studied individually and compared with those in our own system (Anonymous, 1924).”

The Carnegie Institution of Washington was one of the leading institutions of American science in 1924, and Mount Wilson was just one of the research establishments made possible by its support. The Mount Wilson Solar Observatory (from the start of its life the Observatory was concerned with much more than studies of the Sun) had been founded in 1904, and the Carnegie Institution was always keen to advertise the findings of the Institution’s scientists and the impetus for the *New York Times* story clearly came from the Carnegie.

A standard astronomy text-book story emerged that gave all of the credit to Hubble and the Cepheids, and it is one that press releases and news stories by the Carnegie have continued to underline to the present day. That is, Hubble’s Cepheids were the key finds in proving that the spiral nebulae are “in reality distant stellar systems or ‘island universes’...” But we should note that the *New York Times* story refers to how Hubble’s Cepheids had provided “confirmation” of the spiral nebulae as island universes. Further, Hubble himself, as we will see, reckoned that perhaps an even more important discovery in the shift to island universes had come a few years before he located his first Cepheid variable. It is undeniably

dramatic to describe how “Overnight, the Milky Way had been demoted [by Hubble’s Cepheids]. No longer the universe entire, it was just another among the many spiral galaxies and other nebulae that filled a vastly expanded universe” (Weintraub, 2011, p. 205), or to view the ‘Astronomy Picture of the Day’ with the legend “Edwin Hubble Discovers the Universe”(Astronomy Picture of the Day, 2023), or to read a book entitled *The Day We Found the Universe*(Bartusiak, 2009).However, in this paper I will argue that it accords much better with the available evidence to see Hubble in 1923 and 1924, as I have argued elsewhere, as clinching the case for external galaxies,rather than making a completely unexpected discovery (Smith, 2009).

In this paper I will in part be summarizing and bringing together various points I and other scholars have made in different publications in order to provide a coherent account in a relatively short space of the ‘remaking’ of spiral nebulae into external galaxies in the early twentieth century. I will therefore point to other works that provide fuller accounts of various issues that I can only touch on here.

II. Solar Systems in the Making?

The debates over the existence of external galaxies in the late nineteenth and early twentieth century centered on the nature of the spiral nebulae. William Parsons, the third Earl of Rosse, identified the first ‘spiral nebula’in 1845 by employing his giant 72-inch reflecting telescope, the Leviathan of Parsonstown. Some tens of other nebulae were judged in the next few decades to be spirals, and a few astronomers speculated that that our own Milky Way system too might exhibit a spiral pattern (Alexander, 1852).

The use of photography by astronomers in the late nineteenth century was widely regarded as having helped establish that spiral nebulae are relatively nearby objects, and certainly not distant systems of stars. Perhaps the most spectacular single image of a spiral in this period was secured by the amateur astronomer Isaac Robert. He employed his 20-inch reflecting telescope to photograph the Andromeda Nebula. When the photograph was exhibited at the Royal Astronomical Society in 1888, there were cries of “the Nebular Hypothesis made visible...” Roberts explained that those who accepted the nebular hypothesis—which argued that the stars and

their systems of planets had formed out of swirling clouds of dust and gas--“will be tempted to appeal to the constitution of this nebula for confirmation, if not for demonstration, of the hypothesis” (Roberts, 1888, p. 65). Others agreed. For the leading astrophysicist William Huggins, “Roberts’ photograph] reveals for the first time to the eye of man its true nature. A solar system in the course of evolution from a nebulous mass! It might be a diagram to illustrate the Nebular hypothesis!.... I never expected to see such a thing” (Huggins, 1888).

At the start of the twentieth century, for the overwhelming majority of astronomers, our Milky Way system is the only such star system visible in even the most powerful telescopes. Perhaps external galaxies did exist, but there was no convincing evidence they had been sighted. A small number of astronomers disagreed, but their opinions carried little weight with their colleagues. At the same time, it was, following the researches of James E. Keeler at the Lick Observatory in California, very widely agreed that there are vast numbers of spiral nebulae. Keeler estimated that around 120,000 nebulae were within reach of the Lick Observatory’s 36-inch Crossley telescope, the vast majority of them spiral nebulae (Keeler, 1900, and Osterbrock, 1984).

Here it is worth pointing out that Keeler’s researches marked an important moment in the development of astrophysics in the years around 1900. They “denoted the start of the very rapid rise to dominance of American astronomers in observational studies of the nebulae. As in the case of Keeler, the pivotal changes came through the efforts of individual astronomers who had mastered the craft of observing with big telescopes in combination with state-of-the-art photographic plates and spectrographs at good observing sites. Early twentieth-century astronomy was not a republic of science and relatively few astronomers had access to such formidable instrumental means, even in the U.S. (Smith, 2008, p. 100).”

A few astronomers investigated the spectra of the spirals. E.A. Fath, for his Ph.D. at Lick examined the spectra of seven spiral nebulae. He concluded in 1909 that their spectra are the product of light from star clusters, but Fath conceded that he needed accurate distances to the spirals to arrive at firm conclusions (Fath, 1909). At the same time as Fath was pursuing his researches, similar efforts were being made by V.M. Slipher at the Lowell Observatory in Arizona, but he had arrived at the spirals via the planet Mars.

One of the keenest students of the solar system in the late nineteenth century and early twentieth century was Percival Lowell. Lowell was not a professional scientist but rather one of the last 'Independent Gentlemen of Science.' As such he employed his personal wealth to support his own solar system researches, as well as the operations of the Lowell Observatory he founded in 1894 in Flagstaff, Arizona, in the southwest of the United States. By the early twentieth century, Lowell had become infamous for his investigations of Mars, the surface of which he believed was crisscrossed by fine, straight lines. He explained these lines as evidence of vegetation running alongside canals engineered by Martians to carry water from the planet's poles to arid regions. While some astronomers agreed with Lowell's interpretation of Mars, many did not. But Lowell was interested in more than Mars, and he wanted to secure wide-ranging information on the solar system and its history. To this end, in 1906 he asked a member of the staff of the Lowell Observatory, V.M. Slipher, to attempt spectroscopic observations of spiral nebulae. Such observations, Lowell believed, would provide information on the history of the solar system. While astrophysicists had examined in detail the spectra of planetary nebulae and the brighter stars, they had not paid much attention to the spectra of the spiral nebulae. Slipher, concerned about the faintness of the spirals, was not hopeful that his observations would be successful.

By mid-1912, he had adapted his spectrograph so that instead of a Voigtlander $f/14.2$ camera lens, he was instead using an $f/2.5$ spectrograph camera lens. Slipher judged this change meant his spectrograph was now about 200 times faster than the three-prism instrument that he had initially employed and that clear spectra of spirals were now within reach.

Armed with his more effective spectrograph attached to the 24-inch refracting telescope of the Lowell Observatory, Slipher captured four superior quality plates of the Andromeda Nebula in the second half of 1912. Not only could Slipher detect absorption lines in the spectra, but he was also able to measure the Nebula's radial velocity by the shifts of the spectral lines. He thereby arrived at the remarkable result that the Andromeda Nebula was racing towards the Earth at around 300 kms per second (interpreting the shifts in the positions of the spectral lines as Doppler shifts). In 1912, no other astronomical object was known to move faster. Slipher announced his findings in a short paper in 1913 (Slipher, 1913). For Slipher at this time, "the Andromeda Nebula and similar spiral nebu-

lae might consist of a central star enveloped and beclouded by fragmentary and disintegrated matter which shines by light supplied by the central sun. This conception is in keeping with spectrograms of the Andromeda Nebula made here and with Bohlin's value for its parallax [of 19 light years] (Slipher, 1912, p. 55). Slipher, in line with the 1888 photograph of the Andromeda Nebula, interpreted it as a solar system-scale object.

After this success, Slipher pressed on with his researches, but the work advanced slowly. He found that to obtain useful plates of the spectra of the spirals required long exposures, often over several nights. By 1914 he had nevertheless collected radial velocities for fifteen spirals, most of which exhibited redshifts and so were presumably receding from the Earth. At this time, he still thought that a spiral shone by the light reflected by material that surrounded a central sun.¹

Slipher's results, however, suggested a different interpretation to a few other astronomers. The now famous Danish astronomer Ejnar Hertzsprung argued to Slipher in 1914 that the speeds of the spirals were so great that they could not be part of the Milky Way system. They had to be galaxies outside of our own stellar system.

Astronomers were thoroughly familiar with calculations of the solar motion, that is, the motion of the Sun with respect to the system of stars. Starting in 1915, a few astronomers began to calculate the motion of our stellar system with respect to the system of spiral nebulae, and in so doing took the spirals to be distant star systems. Slipher himself performed this calculation in 1917. He also announced that he now supported the island universe theory, that is, the theory in which the universe contains a myriad of island universes or galaxies in modern terminology. It "has for a long time been suggested," Slipher noted, "that the spiral nebulae are stellar systems seen at great distances. This is the so-called island universe theory, which regards our stellar system and the Milky Way as a great spiral nebula which we see from within. This theory, it seems to me, gains favor in the present observations" (Slipher, 1917, p. 9).

In late 1916, the director of the Lick Observatory, W.W. Campbell, had delivered a lecture to the American Association for the Advancement of Science on "The Nebulae." In so doing, he represented what I have elsewhere called the 'Lick School,' in which its members took a generally

1 On Slipher's spectrographic investigations see also Smith (2013) and Smith (1994).

skeptical attitude to newer developments in astrophysics together with support for the spirals as external galaxies. Along with other evidence that he drew on in his 1916 lecture, Campbell employed the radial velocities of the spirals and their spectra to argue that it was likely that the spirals are star systems separate from our Milky Way Galaxy (Campbell, 1917).

By 1917, then, there was significantly more support for the idea of the spirals as external galaxies than there had been a decade earlier. And 1917 saw astronomers acquire important new evidence to support this position.

III. Novae in Spirals

The American astronomer H.D. Curtis was another member of the 'Lick School.' After first training in Greek and Latin, he became a Professor of Latin and Greek at Napa College in California. While there he came across a small telescope and became fascinated by astronomy. This led to a career change, and he secured his Ph.D. in astronomy from the University of Virginia in 1902 and then joined the Lick Observatory. There he became adept in the use of the Observatory's 36-inch Crossley reflector. With its aid, in 1917 Curtis found three objects that he suspected were dim novae in two spiral nebulae.

A bright nova had flared in the Andromeda Nebula in 1885 (the 'nova' would later be classed as a supernova), and astronomers widely judged it as proving that the Nebula could not be an external star system. In 1890, the well-known astronomy writer Agnes Clerke invited her readers to consider if "... the Andromeda Nebula were a universe apart of the same real extent as the Galaxy, it should be situated, in order to reduce it to its present apparent dimensions, at a minimum distance of twenty-five galactic diameters. And a galactic diameter being estimated by the same authority at thirteen thousand light-years, it follows that, on the supposition in question, light would require 325,000 years to reach us from the nebula. The star then which suddenly shone out in the midst of it in August 1885 should have been at 564 times the distance inferred from its effective brightness. In real light it should have been equivalent to 318,000 stars like Regulus, or to nearly fifty million such suns as our own!" (Clerke, 1890 p. 368). How could a single star possibly reach such an extraordinary brightness? This result, in the opinion of Clerke and many others, was a re-

duction to absurdity that ruled out the Andromeda Nebula as an external galaxy. A decade later, astronomers detected another nova, Z Centauri (it too would now be classed as a supernova), in a spiral, NGC 5253, but it was found when it was declining in brightness and did not prompt the intense interest of the Andromeda Nebula's 1885 nova.

In 1917, however, astronomers' interest in novae in spirals was sparked by Curtis's findings and a nova detected by the Mount Wilson astronomer and telescope designer and builder, George Ritchey. Ritchey, a highly skilled observer, was taking photographic plates of various spirals when in July 1917 he found a nova in the spiral NGC 6946. By that date, Curtis had already found his three novae, two in the spiral NGC 4321 and one in NGC 4527. Astronomers at the Lick Observatory and the Mount Wilson Observatory now went on the hunt among their collections of photographic plates for novae in spiral nebulae. More novae were soon identified. This evidence allowed Curtis to estimate the magnitudes near maximum light of these novae in spirals. By using the novae, he was now able to calculate the distances to the spirals by means of two mutually independent methods. But whichever method he used, the distances he estimated for the spirals that contained novae put them far outside our own stellar system. Here, in Curtis's view, was compelling evidence for the island universe theory (Hoskin, 1976).

Also in 1917, at Mount Wilson, the astronomer Harlow Shapley also used the spiral novae to estimate distances to the spirals. In a few years, Shapley would participate in the famous 'Great Debate' of 1920, when he and Curtis debated 'The Scale of the Universe.' Here Shapley had opposed the island universe theory. But in 1917, he supported the theory. As a result of the novae found in the Andromeda Nebula, Shapley calculated that the Nebula was about one million light years away, and so close to the answer Hubble would arrive at in 1924 (Shapley, 1917, p. 216).

There had been a major shift in astronomical thinking by late 1917 in fact. The theory's active supporters now "included such prominent astronomers as Eddington, Jeans, Campbell, Shapley, Curtis, Slipher, Hertzsprung, Crommelin, and the brilliant Willem de Sitter. There were many who wished to suspend judgement, but the only spirited and persistent public criticism came from [the British astronomer] J.H. Reynolds. He, however, was almost a lone figure trying to stem a rising tide of astronomical opinion (Smith, 1982, p. 44)."



IV. Van Maanen's Measurements

The debate on the status of the spirals at this period also involved the measurements of the motions of spiral nebulae by the Mount Wilson astronomer Adriaan van Maanen. These were widely accepted by astronomers to be the only strong pieces of evidence against the island universe interpretation of the spirals between about 1920, when van Maanen's results started to clash with the idea of island universes, and 1925, when astronomers generally decided the internal motions observed by van Maanen were spurious. Why, then, were these measurements significant in the island universe debate?

Van Maanen's approach consisted of comparing photographs of a spiral taken some years apart and checking for motions in the intervening period. He analyzed the motions of several spirals, and his results were consistent in indicating motions outward from the center and along the spiral arms of the nebulae. At the Great Debate in 1920, Shapley used van Maanen's measurements to argue against the spirals as island universes. A couple of years earlier, Shapley had advanced his theory of the 'Big Galaxy,' that is, he contended our Milky Way Galaxy is 300,000 light years across, and so much larger than other astronomers allowed. If the spiral nebulae were indeed galaxies and about the same diameter as our own Galaxy, then the sizes of the motions measured by van Maanen indicated speeds greater than the velocity of light. For Shapley, this was an obviously impossible result, and so for him it was a reduction to absurdity. Shapley therefore argued the spirals could not be galaxies comparable in size to our own Milky Way Galaxy (Smith, 1982, pp. 105-11).

For some other astronomers like Curtis, van Maanen's observations were not credible. Curtis had attempted to measure the motions of spirals himself and so had experience of this line of study. He decided that van Maanen's motions could not "exist at all in the quantities he gives (Curtis, 1924)." Van Maanen, however, had a reputation as a skilled observer and he was an established astronomer at arguably the world's leading observatory. Some other astronomers therefore found it harder than Curtis to reject van Maanen's observations out of hand.

For astronomers concerned with the nature of the spiral nebulae, what, then, to do? One obvious approach was to obtain more photogra-

phic plates of the spirals and to search for more novae and to use them as distance indicators. The more novae that could be found and their brightnesses measured, the better it would be for calculating the distances to the spirals. Curtis's own researches on the spiral nebulae had ended when he moved from the Lick Observatory to the Allegheny Observatory in 1921 to become its director. After he left, no one at Lick was much interested in photographing spiral nebulae with the Observatory's largest telescope, the 36-inch Crossley reflector. The field now was open for Edwin Hubble at the Mount Wilson Observatory.

Hubble had been invited to join the Mount Wilson staff in 1917 as he was completing a Ph.D. thesis at the Yerkes Observatory near Chicago on "Photographic Investigations of Faint Nebulae." After service in the United States Army (the U.S. had entered World War I in 1917), Hubble took up his position at Mount Wilson in 1919. That was the year that the 100-inch Hooker Telescope, the most powerful telescope in the world, went into operation, thereby providing Hubble with enormous aid in his studies of nebulae.²

Even as a graduate student completing his Ph.D. thesis at Yerkes, Hubble, influenced in particular by the high radial velocities of the spirals, had inclined towards the island universe theory. In 1922, he had also estimated the distance to the spiral M33 by comparing the brightnesses of four stars in an emission nebula in M33 with similar stars in an emission nebula in our Galaxy, and his answer was about 100,000 light years (Smith, 1982, p. 12). In the same year, 1922, Hubble discussing what astronomers then generally regarded as a spiral, the giant elliptical galaxy M87, reckoned that the star-like objects clustering around the nebula were best viewed as stars until they could be definitely shown not to be stars. The following year, Hubble commented on the report of a nova in M87 (regarded as the time as a giant spiral) and noted it had appeared on two plates taken with the 100-inch reflector at Mount Wilson. He pointed out that there is "a very marked tendency for exceedingly faint stars to cluster about the outskirts of the nebula...A possible analogy may be found in Messier 31, the great spiral in *Andromeda*, which has bright amorphous nebulosity about the nucleus but breaks up in the outer regions of the spiral arms into condensations which on plates made with the 100-inch reflector cannot be distinguished from star images" (Hubble, 1923, p. 263)

2 On Hubble, see, among others, Christianson (1995) and Hetherington (1996).

By 1923, then, Hubble regarded the outer regions of at least some spirals as composed of stars, or at least the images recorded were indistinguishable from star images.

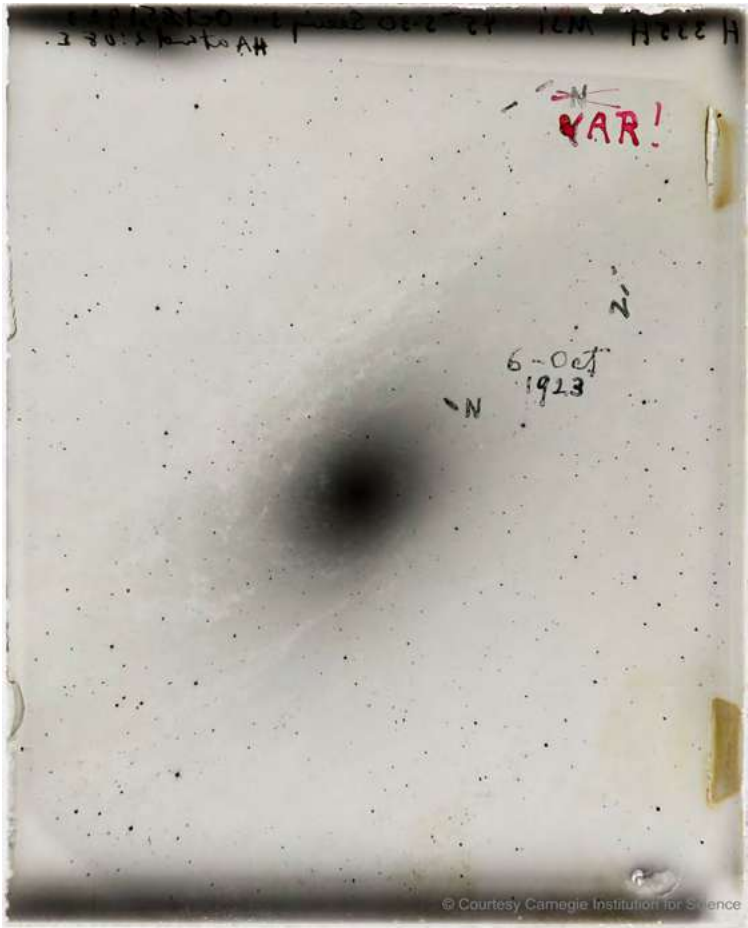


Figure 1. Astronomy Picture of the Day for 6 October 2023.
Hubble's 'discovery' plate for the first Cepheid in the Andromeda Nebula
(courtesy of the Carnegie Institution for Science).

By this time, Hubble had embarked on a program to find novae in spiral nebulae. As a result of this program, in October 1923, Hubble recorded an object that he initially reckoned to be a nova. By February 1924, he had changed his mind. He had drawn a light curve for the 'nova' and found it exhibited the characteristics of the behavior of a Cepheid variable star. Hubble wrote to Shapley, who by then had moved to the Harvard College Observatory, that "You will be interested to hear that I have found a Cepheid variable in the Andromeda nebula (M31)." Hubble explained that in the last five months he had "netted nine novae and two variables... The two variables were found last week..." In Hubble's opinion, the light curve of the first variable he had identified very clearly showed the characteristics of a Cepheid (Hubble, 1924).

Hubble was hard at work chasing more Cepheids and his success in this hunt led to the report in the *New York Times* in November 1924 that we discussed earlier. By late December 1924, in a paper for a meeting of the American Astronomical Society, Hubble had found 12 Cepheids in the Andromeda Nebula and 22 in M33 for which periods and photographic magnitudes had been determined. Hubble had told Shapley in February 1924 that he had calculated the distance to the Andromeda Nebula from the first Cepheid to be over 300,000 parsecs (978,000 light years) and in his American Astronomical Society report he gave the distance to M33 as 285,000 parsecs (930,000 light years) (Hubble, 1925). Here, clearly, were distances to the largest, and so presumably nearest, spirals that put them far outside of our own Galaxy, even if an astronomer regarded Shapley's estimate for the diameter of the Galaxy (300,000 light years) as reasonably accurate, and at this point relatively few astronomers did with many judging the Galaxy to be a lot smaller than Shapley's estimate. With a smaller Galaxy, the cases for the Andromeda Nebula and M33 as galaxies were even stronger.

We should also note that Hubble was not the first to find a variable star in a spiral. J.C. Duncan at Mount Wilson had detected three in M33 in 1920, and Max Wolf at Heidelberg in 1922 found another. But neither Duncan nor Wolf had identified their variables as Cepheids, despite Duncan using 17 photographic plates to track the brightness changes of his variables (Smith, 1982, p. 122).

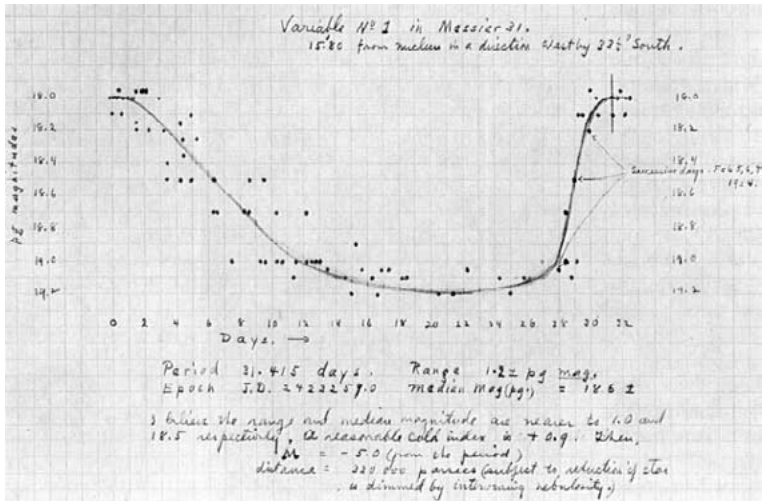


Figure 2. The light curve Hubble drew for the first Cepheid he found in the Andromeda Nebula (Courtesy of the Carnegie Institution for Science).

As Hubble found more Cepheids in more spirals and other astronomers corroborated his finds, astronomers swung behind the island universe theory. Van Maanen's results on the internal motions in spiral nebulae were the only pieces of noteworthy evidence against the spirals as external galaxies, but the testimony of the novae and the Cepheids carried far more weight for astronomers so that van Maanen's measurements were no longer taken seriously.

V. Conclusions

What, then, are we to make of Hubble and the Cepheids in the Andromeda Nebula? First, our journey from 1888 to the mid-1920s to examine the story of the spiral nebulae has often involved the Andromeda Nebula. As has frequently been the case in astronomy, discovery also meant transformation as we saw how the Andromeda Nebula was transformed from a solar system in the making into an external galaxy.

Second, it underlines the point that the notion of discovery in astronomy often involves a complex process that cannot be collapsed down to a single event at a particular point in space and at a particular time, and that discoveries often have a history in which their meaning and interpretation are not stable over time, a point of course made some decades ago by Thomas Kuhn (Kuhn, 1962).³ However, the approach often taken in astronomy textbooks and by contemporary science writers is to simplify and strip down discovery stories so that a single individual is identified as the discoverer, and the discoveries are tied to a single 'Eureka Moment' of insight. This process has served to present Edwin Hubble and the Cepheids as the most significant moment in the acceptance of the island universe theory. The demands of 'telling a powerful story,' however, have triumphed over historical accuracy.

Hubble himself argued that the novae found on photographic plates in 1917 were crucial. As Michael Hoskin pointed out some years ago (Hoskin, 1976, p. 48), in his *The Realm of the Nebulae*, Hubble suggested in 1936 that even when compared to his find of Cepheids in 1924 or the first measurement of the radial velocity of a spiral in 1912, the novae were "perhaps the most significant" because the discovery of "novae on photographic plates initiated the study of stars involved in nebulae. Stars were the clues [sic] which led to distances" (Hubble, 1936, p. 84). Hubble's reading of events was therefore more complicated than those textbook accounts that would follow. It is maybe not surprising that it largely dropped from sight, but we would be misreading a complicated process and doing a disservice to the many astronomers involved in the process of discovery that changed the spirals from solar systems into galaxies to ignore it.

References

Alexander, S. (1852). On the origin of the forms and the present condition of some of the clusters of stars, and several of the nebulae.

3 On the issue of discovery in modern history of astronomy, see also, among others, Kragh and Smith (2003), Dick (2015), Smith (2021) and Pelte (2024). Kragh and Smith (2003) analyse Kuhn's views on discovery and textbook accounts of the history of science as part of a broader discussion of what is meant by discovery with particular reference to the notion of the discovery of the expanding universe.

- Astronomical Journal*. Vol. 2, pp. 95-96, 97-103, 105-11, 113-15, 126-8, 140-2, 148-52, 158-60.
- Anonymous. (1924). "Finds spiral nebulae are stellar systems; Dr. Hubbell [sic] confirms view that they are 'island universes' similar to our own". *New York Times*. 23 November, p. 6.
- Astronomy Picture of the Day (2023). "Edwin Hubble discovers the universe". <https://apod.nasa.gov/apod/ap231006.html> 6 October (accessed 27 May 2024).
- Bartusiak, M. (2009). *The day we found the universe*, New York: Pantheon Books.
- Campbell, W. W. (1917). "The nebulae". *Science*. No. 14, pp. 513-48.
- Christianson, G. E. (1995). *Edwin Hubble: Mariner of the nebulae*, Chicago: Chicago University Press.
- Clerke, A. M. (1890). *The system of the stars*, London: Longmans, Green, and Co.
- Curtis, H. D., to Slipher, V. M., Allegheny Observatory Archives, 3 June 1924.
- Dick, S. J. (2015), *Discovery and classification in astronomy: Controversy and consensus*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Fath, E. A. (1909), "The spectra of some spiral nebulae and globular star clusters". *Lick Observatory Bulletin*. No. 149, pp. 71-77.
- Hetherington, N. S. (1996). *Hubble's cosmology: A guided study of selected texts*, Tucson: Pachart Publishing House.
- Hoskin, M. A. (1976). "Ritchey, Curtis and the discovery of novae in spiral nebulae". *Journal for the History of Astronomy*. Vol. 7, pp. 47-53.

- Hubble, E. P. (1923). "Messier 87 and Belanowsky's nova". *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*. Vol. 35, pp. 261-3.
- Hubble, E. P., to Shapley, H., 19 February, Harvard College Observatory Archives, 1924.
- Hubble, E. P. (1925). "Cepheids in spiral nebulae". *Popular Astronomy*. No. 33, pp. 252-255.
- Hubble, E. P. (1936). *The realm of the nebulae*. New Have: Yale University Press.
- Huggins, W. to Stokes, G. G., 27 November, G.G. Stokes Papers, Cambridge University Library, 1888.
- Keeler, J. (1900). "The Crossley Reflector of the Lick Observatory". *Astrophysical Journal*. Vol. 11, pp. 325-349.
- Kragh, H.; Smith, R. W. (2003). "Who discovered the expanding universe?". *History of Science*. Vol. 41, pp. 141-162.
- Kuhn, T. (1962). "The historical structure of scientific discovery". *Science*. No. 136, pp. 760-764.
- Osterbrock, D. E. (1984). *James E. Keeler: Pioneer American astrophysicist and the early development of American astrophysics*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Pelte, K. (2024). *The reorganization of knowledge in the research of multiple and interacting galaxies (1925-1980)* unpublished Ph.D. thesis, Technical University, Berlin.
- Roberts, I. (1888). "Photographs of the nebulae, M31, h 44 and h 51, and M27 Vulpeculae." *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. Vol. 49, p. 65.

- Shapley, H. (1917). "Note on the magnitude of novae in spiral nebulae". *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*. Vol. 29, pp. 213-7.
- Slipher, V. M. (1912). "On the spectrum of the nebula in the Pleiades". *Lowell Observatory Bulletin*. No. 55, pp. 26-27.
- Slipher, V. M. (1913). "The radial velocity of the Andromeda Nebula". *Lowell Observatory Bulletin*. No. 58, pp. 56-57.
- Slipher, V. M. (1917). "Nebulae". *Proceedings of the American Philosophical Society*. Vol. 56, pp. 403-9.
- Smith, R. W. (1982). *The expanding universe: Astronomy's 'Great Debate,' 1900 to 1931*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Smith, R. W. (1994). "Overview," and "Red shifts and gold medals," in William Lowell Putnam (ed.), *The explorers of Mars Hill: A centennial history of Lowell Observatory 1894-1994*, Flagstaff: Phoenix Publishing, pp. xiii-xix, and 43-65.
- Smith, R. W. (2008). "Beyond the Galaxy: The development of extragalactic astronomy, 1885-1965, Part I". *Journal for the History of Astronomy*. Vol. 39, pp. 91-119.
- Smith, R. W. (2009), "Beyond the Galaxy: The development of extragalactic astronomy, 1885-1965, Part II," *Journal for the History of Astronomy*. Vol. 40, pp. 71-107.
- Smith, R. W. (2013). "The road to radial velocities: V.M. Slipher and mastery of the spectrograph". in Michael J. Way and Deidre Hunter (eds.), *Origins of the Expanding Universe: 1912-1932*, San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, pp. 143-164.
- Smith, R. W. (2021). "Clashing interests: The Cambridge Network and international controversies". in William Sheehan (editor in

chief), *Neptune: From Grand Discovery to a World Revealed*, Cham, Switzerland: Springer, pp. 245-296.

Weintraub, D. A. (2011). *How old is the universe?* Princeton: Princeton University Press.



‘Cultivar el cielo’. **Trabajar la tierra al ritmo del cosmos:** **una aproximación etnográfica a la** **Agricultura Biológico Dinámica**

Fiamma Villa*

Resumen

En Argentina, la agricultura biológico dinámica es quizás la corriente que más elementos heterogéneos ha incorporado a la práctica agroecológica local, en tanto supone no sólo otras formas de trabajar la tierra, sino también otras formas de entender la trama del mundo, basadas en los principios de la antroposofía o ciencia espiritual desarrollada por Rudolf Steiner a principios del siglo XX en Alemania. En este contexto, el presente trabajo busca abordar, desde una mirada antropológica, las lógicas que guían a un grupo de agricultoras/es biodinámicas/os en el Valle de Calamuchita, Córdoba. Las reflexiones que aquí se presentan son parte de una investigación etnográfica interesada en comprender el complejo entramado de relaciones que esta comunidad establece entre sus tareas agrícolas cotidianas y el cosmos, a partir de un corpus de saberes afines a las ciencias astronómicas pero cuyas apropiaciones discursivas y prácticas exceden ampliamente sus límites.

Palabras clave: etnografía, agroecología, antroposofía, agricultura biodinámica, cosmos.

Abstract

In our country, dynamic organic agriculture is perhaps the trend that has incorporated the most heterogeneous elements into local agroecological practice, as it involves not only other ways of working the land, but also

* Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Filosofía y Humanidades. Instituto de Antropología de Córdoba (CONICET-UNC).

other ways of understanding the fabric of the world, based on the principles of anthroposophy or spiritual science developed by Rudolf Steiner at the beginning of the 20th century in Germany. In this context, the present work seeks to address, from an anthropological perspective, the logic that guides a group of biodynamic farmers in the Calamuchita Valley, Córdoba. The reflections presented here are part of an ethnographic research interested in understanding the complex network of relationships that this community establishes between its daily agricultural tasks and the cosmos, based on a corpus of knowledge related to astronomical sciences but whose discursive appropriations and practices far exceed their limits.

Keywords: ethnography, agroecology, anthroposophy, biodynamic agriculture, cosmos.

I. Introducción

Desde la antropología, diversas son las experiencias etnográficas que, en contextos no modernos, han dado cuenta de la multiplicidad de relaciones que pueden establecerse entre los existentes, más allá de la relación de dominación que la modernidad establece con la naturaleza, entendida como una alteridad pasiva (Descola, 2012). Ahora bien, ¿qué sucede cuando, al interior de la modernidad, se generan prácticas y discursos que por su 'heterodoxia' tienen el potencial suficiente como para cuestionar este esquema?

En este sentido, son varios las/os autoras/es (Peredo Parada et al, 2013; Foyer et al, 2014) que han reparado en el carácter híbrido o pluriepistémico de la agroecología, entendida como un espacio de intermediación entre disciplinas científicas, prácticas agrícolas y movimientos sociales. Desde esta perspectiva, la heterogeneidad de las lógicas y actores movilizados en torno al manejo ecológico de los sistemas agrícolas, pueden ser abordados en términos de 'heterodoxias', grietas por donde se filtran concepciones del mundo en las que es posible trazar otras relaciones con los demás existentes, más allá de las habituales o esperables en este tipo de contextos.

En nuestro país, la agricultura biológico dinámica es quizás la que más elementos heterogéneos ha incorporado a la práctica agroecológica local,

1Philippe Descola, *Más allá de la Naturaleza y la Cultura*, Ed. Amorrortu, Buenos Aires, 2012, pp. 287-300.

en tanto supone no sólo otras formas de trabajar la tierra, sino también otras formas de entender la trama del mundo, basadas en los principios de la antroposofía o ciencia espiritual desarrollada por Rudolf Steiner a principios del siglo XX en Alemania. En este contexto, el presente trabajo busca abordar, desde una mirada antropológica, las lógicas que guían a un grupo de agricultoras/es biodinámicas/os en el Valle de Calamuchita, Córdoba. Las reflexiones que aquí se presentan son parte de una investigación etnográfica interesada en comprender el complejo entramado de relaciones que esta comunidad establece entre sus tareas agrícolas cotidianas y el cosmos, a partir de un corpus de saberes afines a las ciencias astronómicas pero cuyas apropiaciones discursivas y prácticas exceden ampliamente sus límites.

II. Las sierras

La región del Valle de Calamuchita pertenece a la zona geográfica central de las Sierras de Córdoba, sus límites coinciden casi en su totalidad con los del departamento Calamuchita, ubicado a 80 kilómetros en dirección suroeste de la Ciudad de Córdoba. Durante las últimas dos décadas, el lugar devino territorio de lo que Joan Nogué (1988) definió como ‘fenómeno neorrural’, es decir, procesos migratorios protagonizados por clases medias urbanas que, sensibilizadas por los discursos ecologistas, decidieron abandonar la ciudad para vivir en el campo. Como señala Julieta Quirós (2014), tras la crisis de 2001 (y más aún después de la pandemia) el ‘irse a vivir al interior’, en este caso las Sierras de Córdoba, pasó a formar parte del horizonte de posibilidades de las clases medias urbanas argentinas, conformando una modalidad de migración atípica motivada por la búsqueda de mejores ‘oportunidades vitales’.

Quienes protagonizan este aluvión migratorio eligen el Valle de Calamuchita como lugar para ‘conectar’ con la naturaleza a través de las más variadas experiencias, entre ellas las vinculadas con la producción agroecológica de alimentos. Dentro de este universo, las producciones biodinámicas inspiradas en los principios antroposóficos desarrollados por Rudolf Steiner son las que, de alguna manera, han acaparado mi atención dada la ‘heterodoxia’ de sus prácticas agrícolas. La presencia de una ‘red antroposófica’ (Riera et al, 2018) consolidada en el territorio constituyó una oportunidad excepcional para la indagación etnográfica de espacios

de producción biodinámica (granjas, huertas) así como de otros vinculados con la formación antropológica en sí (encuentros, cursos).

Es menester señalar que las primeras aproximaciones al campo fueron propiciadas por el hecho de vivir en el lugar y transitar de manera cotidiana los espacios vinculados con la práctica agroecológica, no solo desde mi lugar como investigadora sino también desde una trayectoria personal como productora local de semillas hortícolas. En el transcurso de estas inmersiones, me encontré con experiencias de campo en las que la ‘intersubjetividad nativa’ golpeó de lleno contra mi propio marco de pensamiento haciendo estallar aquello que, hasta entonces, daba por sentado. Como señala Pablo Wright:

“La inmersión progresiva en la corriente de la intersubjetividad nativa nos permite penetrar en un mundo social tal vez impensable previamente. Esa inmersión y entendimiento gradual es la situación real, histórica, dialógica que debemos presenciar y protagonizar”. (Wright, 2022, p. 334).

A pesar de compartir un horizonte común, mis primeras aproximaciones al campo estuvieron teñidas por prejuicios propios en torno a la ‘eficacia’ de las prácticas biodinámicas. Un recelo que se fue disipando en el transcurso de mis visitas a las granjas, donde tuve la oportunidad de observar la exuberancia de los cultivos biodinámicos y de saborear la exquisitez de sus cosechas, únicas en su tipo.

III. El campo

En primer lugar, podríamos decir que la antroposofía, también conocida como ciencia espiritual, formó parte de los movimientos contraculturales que emergieron en toda Europa a fines del siglo XIX, principios del siglo XX. Los principios desarrollados por su creador, Rudolf Steiner, buscaron explorar racionalmente aquellas zonas de la realidad que habían sido ignoradas o negadas por la ciencia occidental moderna como, por ejemplo, la dimensión espiritual del mundo y su relación con el cosmos. Entre las ramas de aplicación antropológica, actualmente encontramos: la medicina homeopática, la pedagogía Waldorf, la bioconstrucción y la agricultura biodinámica. Ésta última podría definirse como aquella que incorpora al trabajo agrícola el obrar de las fuerzas actuantes de la naturaleza toda, in-

cluyendo a humanos, animales, plantas y planetas por igual. La posibilidad de potenciar o inhibir estas fuerzas, mediante un juego de interrelaciones de lo más complejo, es justamente lo que explora la agricultura biodinámica. Al interior de este tipo de producciones, es el sistema de analogías y correspondencias establecidas entre aquellas entidades el que determina las labores agrícolas que deben llevarse a cabo en cada momento del año, en sintonía con los ritmos del Sol, la Luna, los planetas del Sistema Solar y sus posiciones frente a las constelaciones del Zodíaco (Riera et al, 2018).

Para las/os productoras/es biodinámicas/os del Valle de Calamuchita, con quienes comparto además (salvo raras excepciones) el ser parte de 'las/os venidas/os y quedadas/os', la agricultura biodinámica es ante todo un camino de 'sanación'², una forma de devolver al suelo la 'vitalidad' perdida bajo la hegemonía de la ciencia materialista. Esto es, revirtiendo el proceso de 'degradación' iniciado por la desconexión del ser humano respecto a los ciclos de la naturaleza. Esta preocupación constituye uno de los ejes principales de las conferencias dictadas por Rudolf Steiner a lo largo de su vida (Steiner, 2009)³.

Desde esta perspectiva, la pérdida de 'vitalidad' se debe a una percepción errónea que sostiene que la energía de la cual los alimentos dependen proviene del suelo, de la tierra. De allí el esfuerzo desmedido de la ciencia materialista en controlar, a través de sustancias de síntesis química, las variables relacionadas con el sustrato. Para la antroposofía, en cambio, la energía vital proviene del cielo, de las fuerzas cósmicas que moldean la vida en la Tierra⁴. Como me señaló alguna vez un productor biodinámico, mientras dinamizábamos un preparado de milenrama (*Achillea millefolium*): 'Más que la tierra, hay que cultivar el cielo'.

Para poder sincronizar de manera precisa sus labores agrícolas con el movimiento de los astros en el firmamento, las/os productoras/es se guían por el Calendario Biodinámico que publica cada año la Asociación

2 Las palabras que aparecen, a lo largo del texto, entrecomilladas y en letra cursiva corresponden a categorías nativas registradas en campo.

3 La sistematización de la obra de Steiner conforma el 'corpus doctrinal antroposófico' (Riera et al, 2018) que guía, en tanto fuente última de saber, las prácticas de la agricultura biodinámica. En palabras de Geertz (1988), Steiner es el 'fundador de la discursividad' antroposófica.

4 Rudolf Steiner, *Curso sobre Agricultura Biológica Dinámica*, Ed. Antroposófica, Buenos Aires, 2009.

Argentina de Agricultura Biodinámica (AABDA). Allí se presenta la información sistematizada correspondiente a los fenómenos astronómicos observables a lo largo del año. Los datos son suministrados por el Observatorio Astronómico de la Sección de Matemáticas y Astronomía de la Escuela Superior Autónoma para la Ciencia del Espíritu, ubicado en el Goetheanum (Dornach, Suiza). Información que es adaptada al hemisferio sur y al huso horario de Argentina por miembros especializados de AABDA, quienes desde el año 2001 se encargan de su publicación. El primer calendario biodinámico fue publicado en 1961 (Alemania) gracias a las investigaciones desarrolladas por María Thun dentro del ámbito agrícola, en las que buscó demostrar empíricamente el efecto de las fuerzas cósmicas identificadas por Steiner sobre los distintos tipos de cultivos (Thun, 2013).

IV. El cielo

La información contenida en el calendario puede llegar a ser abrumadora, sobre todo para quienes no han tenido contacto previo con este tipo de herramientas. A pesar de su esquematización, su comprensión requiere necesariamente de instancias de aprendizaje en compañía de otras/os agricultoras/es más experimentadas/os, tal como los cursos o encuentros que AABDA organiza cada año en las distintas regionales del país. En el Valle de Calamuchita, por ejemplo, el Curso Regional de Formación en Agricultura Biodinámica constituyó una instancia más de mi trabajo de campo, gracias a la cual pude acceder a la información que a continuación intentaré presentar. Ante todo, es menester señalar que los *'movimientos'* y/o *'ritmos'*⁵ incluidos se corresponden, acorde a lo señalado en el calendario, con los de una perspectiva geocéntrica. No obstante, como veremos a continuación, la perspectiva desde la cual se elaboran las efemérides astronómicas del calendario biodinámico puede ser geocéntrica en algunos casos, es decir desde un punto de vista situado en el centro de la Tierra; y topocéntrica en otros, esto es desde la perspectiva de quien observa desde algún punto de la superficie terrestre.

5 Categorías nativas que refieren a los ciclos o regularidades de los fenómenos astronómicos.

*'Ritmo anual solar'*⁶

Por ejemplo, uno de los fenómenos astronómicos observables considerados por el calendario refiere al movimiento anual del Sol observado desde una perspectiva topocéntrica, es decir, a sus períodos de *'ascenso'* y *'descenso'* respecto al horizonte de sus trayectorias diarias a lo largo de las estaciones. Este movimiento marca, desde una perspectiva biodinámica, el *'ritmo'* de la *'respiración anual'*, es decir, de los movimientos de expansión y contracción de la naturaleza. Durante los períodos de ascenso solar, luego del equinoccio primaveral austral, el Sol *'saldrá'* cada mañana más al Sudeste y se *'pondrá'* cada tarde más al Sudoeste, realizando arcos cada vez más extensos en su recorrido por el cielo, hasta alcanzar su posición más alta en el cielo durante el solsticio de verano austral. A partir de entonces, el Sol *'comenzará'* su descenso realizando el recorrido inverso hacia el Norte, desde el equinoccio otoñal austral, hasta llegar a su trayectoria diaria más baja en el año durante el solsticio de invierno. La creciente disponibilidad de luz y calor durante los períodos de ascenso es la que, efectivamente, produce la expansión de la naturaleza, es decir, su *'exhalación'*, aquella que podemos observar en el crecimiento vegetal. Por el contrario, en los períodos de descenso solar la naturaleza toda y el mundo vegetal en particular siguen este movimiento de contracción o *'inhalación'* hacia su interior, aquel que podríamos observar en la caída de las hojas o el descenso de las savias vegetales (Steiner, 2009).

6 Los subtítulos de este apartado se corresponden con los términos utilizados por el calendario biodinámico para referirse a los movimientos señalados.

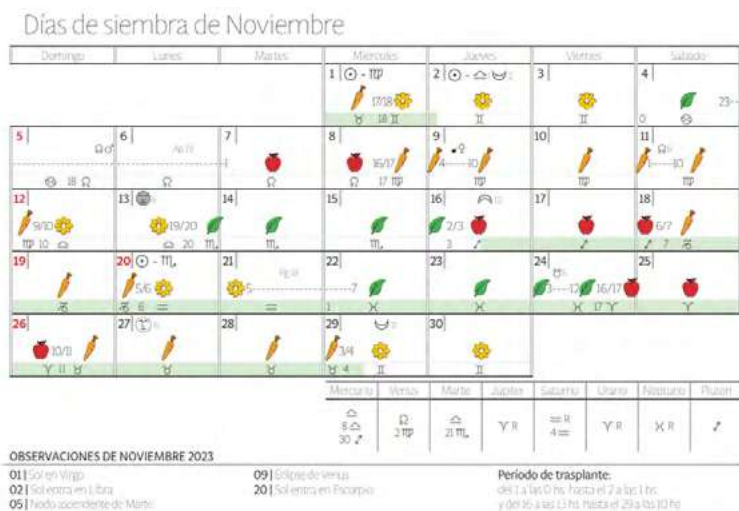


Figura 1. Noviembre de 2023 en el Calendario Biodinámico (AADBA).

‘Ritmo trópico lunar’

Al igual que el Sol, la Luna tiene su propio ‘ritmo de ascenso y descenso’, aunque en períodos más cortos (27,32 días). En este caso, la agricultura biodinámica adjudica, acorde a las mismas lógicas aplicadas al movimiento anual del Sol, cualidades primavera-estivales, de expansión / exhalación, a los momentos de ascenso lunar; y cualidades otoño-invernales, de ‘contracción’ / ‘inhalación’, a los momentos de descenso lunar. Este ‘ritmo’ es el que guía a las savias vegetales, impulsándolas hacia la parte aérea de las plantas en los períodos de ascenso o hacia el ámbito de las raíces durante los períodos de descenso lunar. Dicha correlación establece que los días en que la Luna se encuentre en su período ascendente sean momentos propicios para, por ejemplo, la cosecha de flores aromáticas, en tanto las savias o aceites por los cuales estos cultivos son valorados se encontrarán

7 Este movimiento refiere a los pasajes por los nodos ascendentes y descendentes de la Luna en su órbita en torno a la Tierra, considerando como nodos las intersecciones entre el Ecuador celeste y la órbita lunar.

concentrados en las partes aéreas de las plantas, sus hojas, tallos y flores. Mientras que los días en que la Luna se encuentre en su período descendente serán aptos para el trasplante de plantines, ya que las fuerzas vegetales estarán concentradas en las raíces permitiéndoles enraizar con mayor facilidad (Thun, 2013). El momento exacto en que la Luna comienza su descenso se encuentra señalado en el calendario por una media luna (☾) que, apuntando hacia abajo, indica el inicio del '*periodo de trasplante*'. En la Imagen 1 vemos, por ejemplo, que este momento se extiende desde el día 16 a las 12 hs. hasta el día 29 a las 10 hs.

'Ritmo sinódico lunar'

El '*ritmo sinódico lunar*', más conocido por sus fases lunares, refiere al crecer y decrecer de la cara de la Luna iluminada por el Sol a lo largo de un período de aproximadamente 29,5 días. En agricultura biodinámica, los períodos de Luna creciente y Luna llena están asociados con cualidades primavera-estivales, en donde las fuerzas de crecimiento, reproducción y germinación de las plantas aumentan, indicando momentos óptimos para la siembra (idealmente de dos a tres días antes de la Luna llena). Mientras que las fases de Luna menguante y Luna nueva, vinculadas con cualidades otoño-invernales, marcan momentos propicios para actividades relacionadas con el trabajo en la tierra como, por ejemplo, la incorporación de abono al suelo (Thun, 2013; AABDA, 2023).

'Orbitar lunar: ritmo anomalístico y ritmo draconítico'

El '*ritmo anomalístico lunar*' refiere a la órbita descrita por la Luna alrededor de la Tierra, con una duración de 27,5 días. Al tratarse de una órbita elíptica, hay un momento en que la Luna se encuentra más próxima a la Tierra, es decir, en su Perigeo (Pg), y otro en que se encuentra más lejos, esto es, en su Apogeo (Ag). En el calendario, ambos períodos son señalados como momentos de '*no actividad*'. En la Imagen 1 vemos, por ejemplo, una línea punteada desde el día 21 a las 05 hs hasta el día 22 a las 07 hs, momento en que la Luna se encontraba en su Perigeo. En biodinámica, estos períodos son asociados, dada la influencia de la Luna sobre el agua, con la proliferación de enfermedades fúngicas entre los cultivos;

predisposición que aumenta de manera exponencial si el Perigeo coincide, además, con la Luna llena.

El ‘ritmo draconítico’⁸, por su parte, refiere a la inclinación de la órbita lunar (5° 8’) respecto al plano de la eclíptica, plano imaginario por donde ‘se desplaza’ el Sol visto desde la Tierra. Esta inclinación hace que la Luna cruce dos veces el plano de la eclíptica en el transcurso de unos 27,28 días⁹, acorde a lo señalado en el calendario: una vez cuando va desde abajo hacia arriba, nodo ascendente (♈); y otra al volver a cruzarlo desde arriba hacia abajo, nodo descendente (♉). Es en estos puntos de cruce o nodos donde puede darse la posibilidad de que ocurran eclipses. En biodinámica, estos momentos de interferencia producen perturbaciones que pueden manifestarse en el desarrollo vegetal, sobre todo durante el proceso de germinación de las semillas, motivo por el cual es preferible no realizar tareas de siembra durante estos períodos (Thun, 2013; AABDA, 2023).

‘Ritmo sideral lunar’

Finalmente, el ‘ritmo sideral lunar’ hace referencia a la posición relativa de la Luna delante de las constelaciones del Zodíaco durante su desplazamiento alrededor de la Tierra a lo largo de 27,3 días. En su recorrido, la Luna permanece de 2 a 3 días delante de cada una de ellas. Este ritmo es el que establece los días de siembra, es decir, las distintas variedades de cultivos que pueden sembrarse a lo largo del mes. En agricultura biodinámica, las constelaciones zodiacales se relacionan con elementos de la naturaleza y sus distintas influencias sobre el reino vegetal. Las constelaciones de FUEGO (Aries, Leo y Sagitario) están asociadas con la producción de frutos, granos y semillas; por lo que se considera que los períodos en que la Luna se encuentra delante de estas constelaciones son ‘días de fruto’ , es decir, días óptimos para la siembra de, por ejemplo, tomates, berenjenas o melones. Las constelaciones de AIRE o LUZ (Géminis, Libra y Acuario), asociadas con la producción de flores, definen los ‘días de flor’ , aquellos donde se pueden sembrar cultivos en los que se busca aprovechar su parte floral, ya sea esta comestible o medicinal, como puede ser una equinácea o una coliflor. Las constelaciones de AGUA (Cáncer, Escorpio y Piscis)

⁸ En astronomía académica, se lo conoce con el nombre de ‘draconico’.

⁹ En astronomía, el valor más aceptado es de 27,2122 días aproximadamente.

son asociadas con el cambio, con la producción de verdes definiendo así los ‘días de hoja’  en que se recomienda sembrar cultivos como lechuga, rúcula o acelga. Por último, las constelaciones de TIERRA (Tauro, Virgo y Capricornio) están vinculadas con todo aquello que crece bajo la tierra, por lo que los ‘días de raíz’  serán óptimos para el cultivo de zanahorias, cebollas o remolachas (Thun, 2013; AABDA, 2023).

Hasta aquí hemos repasado uno a uno los fenómenos astronómicos contemplados por el calendario biodinámico. Se preguntarán, entonces, por el lugar que ocupan los planetas del Sistema Solar al interior de la agricultura biodinámica. Más allá de algunas referencias a conjunciones planetarias en las que, al igual que en los momentos de perigeo y apogeo lunar, se recomienda no trabajar la tierra, los planetas cobran especial protagonismo durante la elaboración de los denominados ‘*preparados biodinámicos*’¹⁰.

‘Preparados Biodinámicos’

Dentro de las actividades propias de la agricultura steineriana, quizás sean las vinculadas con el abono las que más destacan por su ‘heterodoxia’ (Descola, 2012). Los ‘*preparados biodinámicos*’ o ‘*abonos espirituales*’ (Steiner, 2009) son elaborados a partir de órganos animales y componentes vegetales o minerales utilizados como relleno. Estos brebajes son enterrados durante períodos de tiempo que coinciden, según el preparado, con los equinoccios y solsticios de cada año. Pasado este tiempo, son ‘*cosechados*’ y aplicados de forma directa, siempre en dosis homeopáticas¹¹.

A partir de la aplicación homeopática de estos preparados, las/os productoras/es buscan ‘*revitalizar*’ las relaciones entre sus cultivos, la tierra y el cosmos (Steiner, 2009; Riera *et al*, 2018). Los ‘*preparados biodinámicos*’ se dividen en dos grupos: los ‘*preparados del campo*’ y los ‘*preparados del*

10 Existen, además, otras prácticas vinculadas con la erradicación de plagas en las que se tiene en cuenta la posición de los planetas respecto a las constelaciones del Zodíaco. Para las invasiones de ratones se recomienda, por ejemplo, atrapar uno, despellearlo, quemarlo y esparcir sus cenizas en el campo cuando Venus esté en el signo zodiacal de Escorpio.

11 Esto tiene que ver con que, tanto en agricultura biodinámica como en homeopatía, la cantidad de materia presente en estos preparados u otras diluciones es irrelevante, ya que lo que se busca liberar es la esencia contenida en ella mediante un proceso de digestión, descomposición o dilución.

compost, acorde al lugar en que suelen ser aplicados. Dentro del primer grupo, encontramos: el preparado de estiércol en cuerno de vaca, asociado con la acción de los llamados '*planetas cercanos*' (Luna, Mercurio y Venus) relacionados con la germinación, el desarrollo radicular y el crecimiento vegetativo; y el preparado de sílice o cuarzo en cuerno de vaca, asociado con la influencia de los denominados '*planetas lejanos*' (Marte, Júpiter y Saturno) responsables de la salud de los cultivos, de su calidad nutritiva y su resistencia frente a plagas y enfermedades. Entre los '*preparados del compost*', encontramos: el preparado de manzanilla (*Chamaemelum nobile*) en intestino delgado de vaca, asociado con las '*fuerzas cálidas*' de Mercurio; el preparado de milenrama (*Achillea millefolium*) en vejiga de ciervo macho, ligado a las '*fuerzas luminosas*' del planeta Venus; el preparado de corteza de roble (*Quercus robur*) en cráneo de vaca, vinculado con las '*fuerzas acuosas*' de la Luna; el preparado de ortiga (*Urtica dioica*) relacionado con las '*fuerzas sonoras*' de Marte; el preparado de diente de león (*Taraxacum officinale*) en mesenterio de vaca, ligado a las '*fuerzas luminosas*' de Júpiter; y el preparado de valeriana (*Valeriana officinalis*) relacionado con las '*fuerzas calóricas*' del planeta Saturno. La elección de estas especies, así como de sus órganos contenedores, tiene que ver con las relaciones de afinidad que el corpus de conocimiento antropológico ha establecido entre éstas y determinadas fuerzas planetarias (Steiner, 2009; Riera *et al*, 2018).

Antes de concluir, me gustaría volver sobre el campo etnográfico en el que, como antropóloga, vengo trabajando desde hace ya tiempo. Y es que, hasta el día de hoy, me sorprende la rigurosidad con que mis interlocutoras/es incorporan a su práctica cotidiana las consideraciones incluidas en el calendario biodinámico. No sólo en lo que refiere a las tareas propiamente agrícolas, sino también en otros ámbitos de sus vidas. Es común, por ejemplo, verlas/os lavar sus ropas en '*días de fruto*', en los que la influencia de las constelaciones de fuego (Aries, Leo y Sagitario) es asociada con pronósticos cálidos y soleados. En este sentido, podríamos decir que el calendario, en su versión impresa o digital, constituye una herramienta omnipresente en la vida de las/os productoras/es biodinámicas/os del Valle de Calamuchita, siendo constante material de consulta. Su importancia es tal, que he llegado a registrar las ansiedades y frustraciones que genera el no poder estar planamente sincronizada/o con los '*ritmos*' cósmicos propuestos por el calendario.

V. Consideraciones finales

Mircea Eliade (1974) sostiene que todos los grupos humanos han establecido, a lo largo de la historia, relaciones más o menos orgánicas con el cielo. Para el autor, las zonas siderales fueron dotadas de prestigio por el modo de ser de *'lo celeste'*, principalmente por su inaccesibilidad. Desde esta perspectiva, las relaciones que la agricultura biodinámica establece con el cosmos pueden ser leídas como una *'realidad biocósmica'* (Eliade, 1974: 189), un *'tiempo vivo'* donde los símbolos se encuentran vinculados entre sí por una serie de correspondencias, una red de analogías en la que todo está entretelado.

El humano moderno, como señala Eliade (1974: 78), no recurre al cielo más que para buscar refugio ante la amenaza de un peligro inminente; fuera de esos momentos las circunstancias de su existencia lo obligan a mirar más a la tierra que al cielo. La agricultura biodinámica irrumpe a principios del XX en Europa justamente en contraposición a este excesivo materialismo, en un momento en que la agronomía se encontraba dominada por la química orgánica de Justus von Liebig, quien a finales del siglo XIX descubriría el papel determinante de los elementos químicos en la fertilidad del suelo. En su lugar, la biodinámica afirmará, aunque sin negar el accionar de estos elementos, la centralidad de las fuerzas cósmicas en lo relativo a la fertilidad o *'vitalidad'* de los cultivos siendo éstas las que, en última instancia, *'moldean'* la vida en la Tierra guiando a estos elementos en su accionar (Steiner, 2009).

Al rescatar el *'obrar de la naturaleza'*, la agricultura biodinámica, a semejanza de las ontologías analogistas, fracciona lo real en una multiplicidad de agencias vinculadas por medio de una red de analogías basadas en características suprasensibles (Descola, 2012); un esquema en el que el humano no deja de tener un papel protagónico en tanto mediador de los *'intercambios cósmicos'* (Schiovani, 2020). En este sentido, y retomando la pregunta inicial en relación con las posibilidades inauguradas por las *'heterodoxias'* que emergen al interior de la propia modernidad, Philippe Descola (2012) dirá que el reconocimiento de las relaciones de interdependencia entre los componentes bióticos y abióticos por parte de las filosofías ambientalistas no es condición suficiente para escapar del sesgo antropocéntrico, en tanto no resignan la centralidad de los humanos en la conservación del equilibrio.

No obstante, y a pesar de sus propias contradicciones, la biodinámica ha conseguido abrir un pequeño paréntesis donde al menos poder imaginar otras alternativas posibles, aquellas que nos permitan posicionarnos críticamente frente al avance de las lógicas extractivistas. Si, como señala Rossana Reguillo (2005), durante el siglo XIX la humanidad experimentó un desencantamiento de las formas religiosas en pos de la racionalidad moderna, el siglo XXI generó un desencantamiento de las formas políticas dando paso a un retorno religioso que se plantea como posibilidad de futuro frente a los desafíos del presente; prácticas e imaginarios que buscan devolver al mundo algo del encanto perdido.

Referencias

- Asociación Argentina de Agricultura Biológico Dinámica (AABDA). (2023). *Calendario Biodinámico*. Buenos Aires: Ed. Antroposófica.
- Carvalho, J. (1993). Antropología: saber académico y experiencia iniciática. *Antropológicas, Nueva Época*. Vol 5, pp. 75-86.
- Descola, P. (2012). *Más allá de la Naturaleza y la Cultura*. Buenos Aires: Ed. Amorrortu.
- Eliade, M. (1974). *Tratado de historia de las religiones*. Madrid: Ediciones Cristiandad.
- Foyer, J.; Jankowski, F.; Blanc, J.; Georges, I.; Kleiche-Dray, M. (2014). "Saberes científicos y saberes tradicionales en la gobernanza ambiental: La agroecología como práctica híbrida". *ENGOV*. Vol. 79, p. 14 (ENGOV Working Paper Series).
- Holmgren, D. (2006). *Permaculture: Principles and Pathways Beyond Sustainability*. Hepburn: Holmgren Design Services.
- Nogué, J. (1988). "El fenómeno neorrural". *Agricultura y Sociedad*. Vol. 47, pp. 145-175.

- Peredo Parada, S.; Acuña Jujihara, B.; Hurtado Quiñones, A. (2013). "Agroecología y antropología: acercamientos para un encuentro transdisciplinario". *VIII Congreso Chileno de Antropología*. Colegio de Antropólogos de Chile A. G, Arica.
- Quirós, J. (2014). "Neoaluvión zoológico. Avatares políticos de una migración de clase". *Cuadernos de Antropología Social*. N° 39, pp. 9-38.
- Reguillo, R. (2005). "La razón re-encantada: magia, neo religión y rituales en la era del colapso". *Revista Comunicación y Medios*. No. 16, Chile.
- Riera, V.; Saccol, C.; Wright, P. (2018). "Cosmologías practicadas: un acercamiento etnográfico a la antroposofía en Periferias sagradas en la modernidad argentina". *Biblos*, p. 57-76.
- Schiavoni, G. (2020). "Imitar y fabricar: Las naturaleza culturas de las agriculturas guaraní, colona y agroecológica". *Horizontes Antropológicos*. Vol. 26; 56; 4-2020, pp. 165-193.
- Steiner, Rudolf. (2009). *Curso sobre agricultura biológica-dinámica*. Buenos Aires: Editorial Antroposófica.
- Taylor, B. (2010). *Dark Green Religion: Nature Spirituality and the Planetary Future*. Santa Barbara: University of California Press.
- Thun, M. (2013). *Sembrar, plantar y recolectar en armonía con el cosmos*. Buenos Aires: Editorial Rudolf Steiner.
- Wright, P. (2022). "Reflexiones sobre ontología de la etnografía. Entre la experiencia, el poder y la intersubjetividad". *Runa*. Vol. 42(3), pp. 317-344.

ISBN 978-950-33-1873-7

