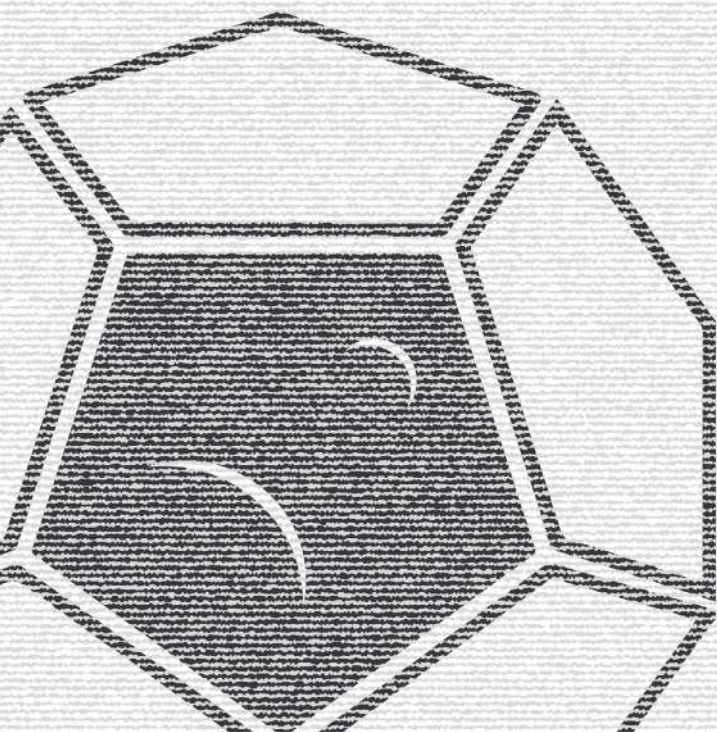


**Maximiliano Bozzoli
Luis Salvatico
David Merlo
(Eds.)**

Epistemología e Historia de la Astronomía

Volumen I



Epistemología e Historia de la Astronomía

Volumen I

Maximiliano Bozzoli

Luis Salvatico

David Merlo

(Eds.)

**Colecciones
del CIFYH**



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

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-950-33-1721-1

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

Publicado por

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

Córdoba - Argentina

1º Edición


Área de
Publicaciones

Diseño de portadas: Manuel Coll y María Bella

Diagramación: María Bella

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

2023



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



Observaciones y clasificaciones en astronomía

Maximiliano Bozzoli*

Resumen

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

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

Abstract

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

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

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

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

I. Introducción

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

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

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

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

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

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

II. Breve aproximación histórica

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

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

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

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

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

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

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

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

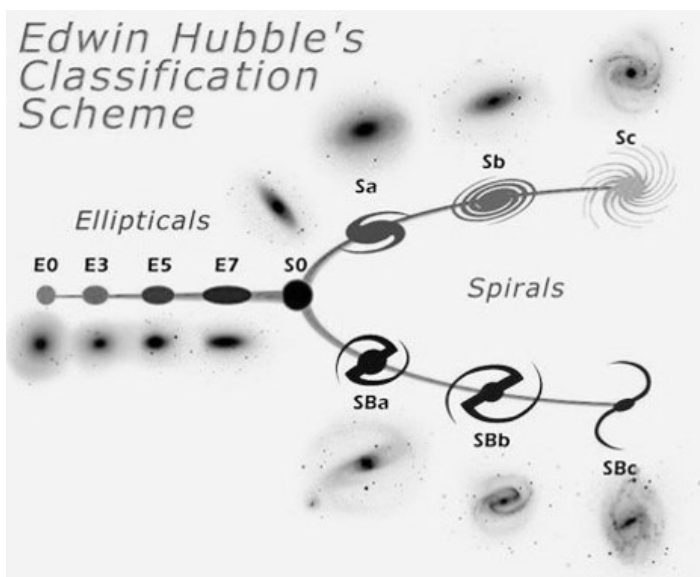


Figura 1. Esquema de clasificación que representa tres clases de galaxias según su morfología: (e) elípticas, (s) espirales y (sb) espirales barradas.

Fuente: Wikipedia.

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

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

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

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

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

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

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

III. Consideraciones filosóficas sobre clases naturales

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

IV. Consideraciones filosóficas sobre la observación

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

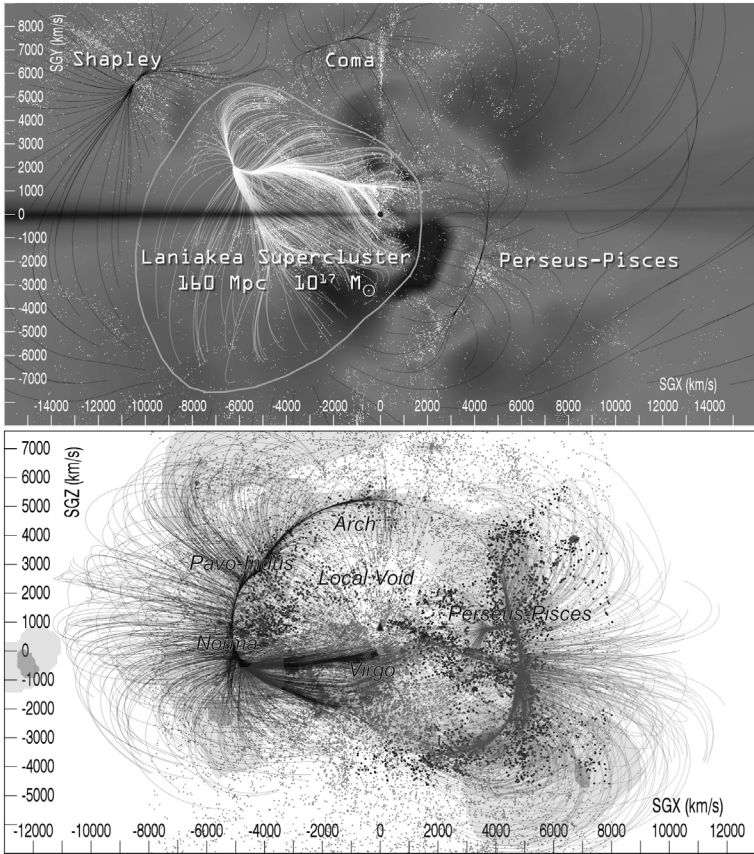


Figura 3. Contorno del Supercúmulo *Laniakea*, a través de una visualización de la base de datos *Cosmicflows 2* (arriba). Representación de las estructuras y evidencia de los flujos galácticos (abajo).

Créditos: *Nature* - Tully et al. (2014).

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

movimientos (con un desplazamiento hacia el rojo de $z < 0,1$) de ocho mil galaxias a una distancia de seiscientos cincuenta millones de años luz. En palabras de Libeskind y Tully: “A medida que se expandía el catálogo, nos sorprendió encontrar un patrón inesperado oculto en la masa de datos: los contornos de una nueva estructura cósmica nunca antes vista” (Libeskind & Tully, 2016, p. 38).

La identificación y clasificación de estructuras, a diferentes escalas, parten de una concepción de un universo jerárquico que nutre a la cosmografía con parámetros taxonómicos de similitud, a través de relaciones empíricas como Tully-Fisher, o bien, Faber-Jackson, entre otras. El contraste producido por los flujos galácticos, es decir, entre la gravedad del sistema y la misma expansión del universo, permitió la elaboración de un mapa de densidades y de distribución de los diferentes tipos de materia (ordinaria y oscura), estableciendo así cuáles son los límites y el contorno de *Laniakea* [Fig. 4].

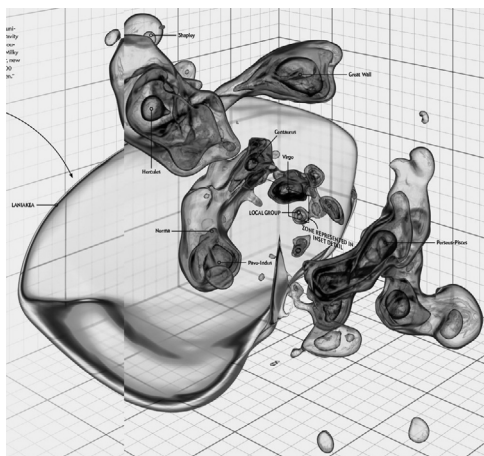


Figura 4. Representación artística de los límites de *Laniakea* y las superestructuras circundantes. Créditos: *Scientific American* – ilustración de Bryan Christie - Libeskind y Tully (2016).

Sin embargo, los resultados obtenidos no niegan la posibilidad de que ésta sea parte de un sistema superior. Por ello, se considera aquí que las propiedades intrínsecas de estos sistemas no alcanzan para reconocer pa-

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

VI. Conclusiones

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

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

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

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

Agradecimientos

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

Referencias

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

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

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



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

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