



La historia de la astronomía y su rol en la enseñanza de la filosofía de la astronomía

Maximiliano Bozzoli^{1,2}

¹Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Filosofía y Humanidades, Centro de Investigaciones “María Saleme de Burnichon”, Pabellón “Agustín Tosco”, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina. ²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Córdoba, Argentina.
E-mail: maxibozzoli@ffyh.unc.edu.ar

RESUMEN. La evolución que ha sufrido el concepto de observación en la astronomía contemporánea ha generado nuevas concepciones científicas acerca del universo observable, como así también, diversas maneras reflexivas de concebirlo. El avance tecnológico en el instrumental astronómico reciente ha ido configurando y sofisticando nuevas prácticas observacionales dentro de esta disciplina. En la medida en que estas últimas se han ido complejizando, resultan cruciales las aproximaciones históricas para la difusión de la filosofía de la astronomía. En este trabajo, se intentará generar un contexto propicio para la enseñanza de problemáticas filosóficas de la ciencia en el ámbito académico astronómico. En particular, a partir de la metamorfosis que ha tenido el concepto de observación en la astronomía actual y, desde la perspectiva de la filosofía de las prácticas científicas, se pretende mostrar cómo que tal concepto ha ido perdiendo la capacidad de reflejar matices sutiles de relevancia epistemológica. Uno de los objetivos principales consiste en incentivar a miembros de la comunidad astronómica a reflexionar sobre la problemática en cuestión. A través de un recorrido histórico a lo largo de las últimas décadas de la astronomía, se mostrará cómo los cambios tecno-científicos impactan en la concepción misma de la observación. De esta manera, los educadores (filósofos y astrónomos) podrían generar estrategias innovadoras al momento de transmitir contenido filosófico. Ello les permitiría a los astrónomos, eventualmente, repensar la manera de abordar sus propias investigaciones.

Palabras-clave: prácticas científicas; observación; historia de la astronomía; filosofía de la astronomía.

The history of astronomy and its role in teaching philosophy of astronomy

ABSTRACT. The evolution undergone by the concept of observation in contemporary astronomy has generated new scientific conceptions about the observable universe, as well as different reflective ways of conceiving it. Technological advances in recent astronomical instruments have led to new and more sophisticated observational practices within this discipline. As they have become more complex, historical approaches are crucial to teach philosophy of astronomy. In this article, an attempt will be made to create an appropriate context for the teaching of philosophical problematics of science in astronomical academic settings. In particular, taking into account the metamorphoses suffered by the concept of observation in current astronomy and, the point of view from the philosophy of scientific practices, it is intended to show how that concept has been losing its ability to reflect subtle aspects of epistemological relevance. One of the aims here is to encourage members of the astronomical community to reflect on such problems. Through a historical description along the last decades of astronomy, it will be shown how those techno-scientific changes have influenced on the conception of observation itself. This way philosophers and astronomers may generate innovative strategies while teaching philosophical contents. This may help astronomers to rethink the way they carry out their own investigations.

Keywords: scientific practices; observation; history of astronomy; philosophy of astronomy.

Received on April 2, 2021.

Accepted on May 6, 2021.

Introducción

Los astrónomos suelen decir que la astronomía es quizás la ciencia más antigua. Desde el comienzo de los tiempos, desde que el ser humano se fascinó con la contemplación de los cielos, se echaron sus raíces. Está claro que apreciar la belleza del cielo nocturno con espíritu contemplativo no llena los requisitos de lo que hoy se conoce como una observación astronómica, pero sin dudas, está en su origen. De esta manera, el

concepto de observación se halla definido por lo que se considera actualmente una observación rigurosa. Por un lado, esto significa que todos los datos observables obtenidos, es decir la base empírica, presupone un conjunto de teorías que son aceptadas previamente por la comunidad astronómica en general. Por otro lado, es necesario considerar tres requisitos metodológicos fundamentales para que se dé una observación de este tipo: la efectividad, la repetitividad y la intersubjetividad. El primero hace referencia a la verdad o falsedad de los enunciados observacionales. En particular, al aceptar un presunto dato, debe saberse si se lo considera un dato científico o no. Por consiguiente, este requisito presupone un método efectivo para diferenciar los enunciados verdaderos de los falsos, considerándose ciertas condiciones de la observación, tales como los factores perturbadores y las posibilidades técnicas. El segundo requisito afirma que los datos astronómicos pueden ser repetidos. Esto genera una cierta regularidad, la cual define una determinada confiabilidad en la base empírica disponible. El tercero sugiere que los datos observables pueden ser obtenidos, tomados prestados y analizados por otros astrónomos de la misma comunidad.

La noción de observación es usualmente caracterizada como la fuente primaria de los datos, los cuales sirven para contrastar teorías o para construirlas. Antiguamente, el conocimiento astronómico consistía principalmente en la ubicación de objetos en la bóveda celeste. Las técnicas utilizadas para la observación a 'ojo desnudo' se hallaban sujetas fuertemente a la percepción sensible que se tenía del firmamento. Con el desarrollo de ciertos instrumentos de medición (gnomon, astrolabio, cuadrantes, sextantes, etc.) en los cuales no se requería 'mirar a través de' los mismos, se combinaba el uso de tales aparatos con los ojos para medir, con buena precisión, la posición de dichos objetos astronómicos. Con la aparición de los telescopios cambió el panorama observacional. Los mismos se convirtieron en herramientas insustituibles en la astronomía, ya que intermediaban con la 'observación directa'. Transcurrió tiempo hasta que las imágenes obtenidas por medio de esos instrumentos fueran aceptadas como indicadores veraces de lo que sucedía en el cielo. A medida que la observación se extendió en esta dirección, surgieron cuestiones epistemológicas en torno a la misma. Se consideraba que la observación que se obtenía mediante los aparatos era una extensión de la percepción sensible. Por otra parte, es un lugar común en la filosofía de la ciencia contemporánea la consideración y ponderación del punto de vista de que la observación está cargada de teoría (Hanson, 1977a, 1977b). A medida que se fueron perfeccionando los instrumentos con nuevos accesorios, se fueron dejando de lado las diversas maneras de observar 'a simple vista' e incluso de 'ver a través de' ciertos aparatos. Ello significó el paso de la astronomía de posición (astrometría) a la astrofísica, en particular, con la inserción de dos campos de la física experimental (la fotometría y la espectroscopía, principalmente) y la fotografía procedente del ámbito de la estética. El desarrollo tecnológico en el instrumental fue configurando y sofisticando nuevas concepciones de lo que se consideraba una observación astronómica. Para el empirismo de la primera mitad del siglo pasado, como es sabido, existió una fuerte distinción entre la teoría y la observación, más precisamente, entre los términos teóricos y los términos observacionales. En líneas generales, lo 'real' se restringía a lo observable. Posteriormente, surgieron varias propuestas filosóficas que atenuaban tal distinción, contribuyendo a la evolución y a la erosión de la concepción heredada de las teorías. Actualmente, para los astrónomos, 'ver' no siempre es la manera de abordar una observación astronómica rigurosa, ya que los mismos generalmente observan con instrumentos de determinada sofisticación. Usualmente lo que se ve de esta manera, rara vez puede verse con los ojos.

El objetivo general de este trabajo consiste en generar un contexto propicio para la enseñanza de problemáticas filosóficas de la ciencia en el ámbito académico astronómico. Si bien aquí no se abordarán teorías pedagógicas particulares ni se desarrollarán didácticas concretas, la motivación de este artículo ha surgido a raíz de una propuesta didáctica, planteada en el marco de la enseñanza de la astronomía (Camino, 2010, 2012, 2018). Cabe mencionar que la misma se basa en la teoría del aprendizaje significativo (Ausubel, Novak, & Hanesian, 1983) y considera, como otro de sus ejes principales, el desarrollo conceptual de fenómenos astronómicos por medio de su observación e impronta histórica. Más allá de una eventual implementación de dicha propuesta en el contexto de la enseñanza de la filosofía de la ciencia, se destaca el rol crucial que puede desempeñar la historia de la ciencia en los diferentes ámbitos de la enseñanza.

En este trabajo se pretende mostrar una forma posible de enseñar filosofía de la astronomía, a través de la historia de la astronomía, desde la perspectiva de la filosofía de las prácticas científicas. Específicamente, a partir de la evolución que ha tenido el concepto de observación en la astronomía reciente, se plantea aquí que tal noción, al haberse ido complejizando, ha ido perdiendo la capacidad de reflejar matices sutiles de relevancia epistemológica. Así, este escrito busca incentivar a miembros de la comunidad astronómica a reflexionar sobre la problemática en cuestión mediante un recorrido histórico de los cambios tecno-científicos

que han nutrido y han sofisticado, en las últimas décadas, al concepto de observación en esta disciplina. Al llamar la atención a los educadores, tanto filósofos como astrónomos, sobre la necesidad de generar un entorno reflexivo, se sostiene aquí que los mismos aplicarían nuevas estrategias didácticas, las cuales se traducirían en maneras innovadoras de enseñar, divulgar o difundir contenido filosófico. Luego, los resultados de estas últimas se verían reflejados en cómo los astrónomos lograrían repensar la forma de abordar sus propias investigaciones, liberándose, eventualmente, de sesgos epistémicos y de prejuicios metodológicos.

Algunas consideraciones generales sobre la noción de observación

En su extensión, el concepto de observación puede caracterizarse como un proceso, o bien, como un resultado o producto de dicho proceso. Desde esta perspectiva puede entenderse por 'observación directa' el proceso observacional en donde se vinculan o relacionan directamente ciertos instrumentos con los ojos del observador, en el caso particular de la astronomía. También entendida como proceso, puede definirse una 'observación indirecta' como el desplazamiento de los ojos del observador debido a los instrumentos y piezas de equipo que pueden mediar en la práctica astronómica. Por otra parte, interpretando a la observación como un resultado, puede caracterizarse que una 'observación directa' consiste en obtener, mediante el uso de dichos aparatos, una representación visual, un resultado o un registro permanente de la fuente observable. Y, en esta dirección, por una 'observación indirecta' puede entenderse la inferencia observacional que asocia determinados efectos registrados con ciertos fenómenos que se consideran observables. En este sentido, suele usarse en la práctica astronómica el tipo de inferencia inductiva conocida como 'abducción', relacionada a su vez con la generación de hipótesis. A partir del análisis reflexivo en torno al concepto de observación en la astrofísica, y a los propósitos aquí planteados, se destacará, como se expresó anteriormente, a la observación como acción o proceso de intervención sobre los instrumentos, por un lado, y como resultado final de dicho proceso, por el otro. Para ello, se tomará como base una noción de experimento débil. Así, se abordará una experimentación no estricta en lo inherente a un proceso de observación. Además, se destacará la importancia de la producción y del empleo de las representaciones visuales como resultados finales de tal proceso.

Cuando se mencionan los instrumentos de la astronomía actual, se hace referencia a un sistema de observación que incluye tanto los aparatos, como sus respectivas piezas de equipo. Con los accesorios indispensables en los telescopios actuales, como así también con los adelantos tecnológicos propios de los sistemas observacionales, es posible aumentar el poder resolutivo de los telescopios, en general, y así obtener datos instrumentales cada vez más precisos. Para ello, se atenderá, en lo que sigue, al desarrollo histórico de ciertos instrumentos y de sus roles en esta disciplina. Por otra parte, los astrónomos normalmente consideran como un auxiliar importante de la práctica observacional a la simulación computacional. Dichas prácticas, aunque no serán desarrolladas aquí, requieren del manejo de métodos numéricos, de algoritmos específicos y códigos que se utilizan para clasificar ciertos procesos físicos a fin de incluirlos en tales simulaciones. Más precisamente, se asume un modelo teórico sobre los objetos astrofísicos y sus propiedades, condiciones iniciales (resultados observacionales), estableciendo qué otros mecanismos van a intervenir. Como se mostrará a continuación, estos cambios provocaron una sofisticación considerable del concepto de observación en la astronomía reciente. La complejidad que ha alcanzado tal transformación, ha hecho perder matices sutiles de relevancia epistemológica. Los mismos serán alcanzados aquí, a través de una propedéutica lograda por la historia de tal disciplina.

Los telescopios y detectores actuales

Durante las últimas décadas han ocurrido importantes cambios en el instrumental astronómico. Los nuevos accesorios y las nuevas técnicas han tomado un lugar crucial en el conocimiento observacional. Esto no sólo es debido al incremento de la precisión, resolución y eficiencia de estos aparatos, sino a la comprensión y a la caracterización de nuevas entidades astrofísicas. En 1969 Willard Boyle y George Smith, de los laboratorios Bell, inventaron los primeros detectores electrónicos basados en el efecto fotoeléctrico sobre materiales semiconductores. En principio, estos circuitos integrados fueron diseñados e ideados para maximizar la capacidad de memoria de las computadoras de esa época. No obstante, fueron rediseñados y utilizados como captadores de imágenes unidimensionales, los cuales consistían en una fila de celdas fotosensibles llamadas *píxeles*. Posteriormente, los adelantos en esta nueva tecnología produjeron y desarrollaron los primeros dispositivos bidimensionales conformados por cientos de píxeles. Así, los primeros dispositivos de carga acoplada o CCD (Coupled Charge Device) se abrieron paso, desplazando gradualmente

a las placas fotográficas. El empleo y las aplicaciones de los ccd en la astronomía global, en la década de 1980, proliferaron y se desarrollaron bastante desde esta época hasta la actualidad. De esta manera, los grandes observatorios están equipados con estos dispositivos, los cuales son accesorios esenciales en los telescopios de última generación. Una de las ventajas más notables de tales dispositivos es la sensibilidad, casi cien veces mayor, comparadas con las antiguas placas fotográficas. Dicha sensibilidad depende de la 'eficiencia cuántica' del 'chip', o sea, de la cantidad de fotones de luz que deben incidir en cada píxel o celda fotovoltaica para producir una determinada corriente eléctrica. Así, la cantidad de electrones liberados en cada píxel es directamente proporcional a la cantidad de luz incidente. Esto implica que un telescopio convencional, de menor envergadura y con ciertas condiciones externas desfavorables, puede lograr imágenes de una definición bastante aceptable comparadas con las fotografías que se tomarían con una emulsión muy sensible. De esta manera, un telescopio amateur equipado con un ccd comercial puede lograr lo que décadas atrás podía fotografiar un telescopio profesional ubicado en un mejor sitio de observación. Por otro lado, otra de las ventajas de estos accesorios es que al ser más sensibles permiten tiempos de exposición menores en relación con las placas fotográficas. Aunque estos dispositivos también pueden detectar objetos astronómicos extensos, estas últimas poseían un gran campo y podían registrar extensiones muy amplias del cielo. En los ccd utilizados por los astrónomos observacionales, el ruido electrónico o intrínseco de los mismos aumenta notablemente con la temperatura. Por lo tanto, suelen ser enfriados con un sistema de refrigeración provisto con termos de nitrógeno líquido, a temperaturas cercanas a los cien grados bajo cero. Consecuentemente, las imágenes producidas por estos chips son de una alta calidad, las cuales pueden ser mejoradas y retocadas a través de programas de computadora especializados. Con esta misma técnica informática es posible además corregir y colorear las imágenes, eliminando los ruidos instrumentales como defectos ópticos del telescopio empleado. La mayoría de los observatorios profesionales de la actualidad están equipados con detectores ccd de una alta eficiencia y resolución, los cuales son instalados en las plataformas multi-instrumentales de los telescopios más recientes (McLean, 2008)¹.

La comunidad astronómica internacional consta de un gran número de observatorios equipados con grandes telescopios ópticos situados en lugares privilegiados en ambos hemisferios y en el espacio. Entre los cuales se pueden mencionar sólo algunos de ellos, tales como: el observatorio VLT (Very Large Telescope) del Cerro Paranal en Chile, el observatorio GEMINI Sur en Cerro Pachón, también en Chile y el GEMINI Norte en la cima del volcán apagado Mauna Kea en Hawai, el Gran Telescopio de Canarias (GTC) ubicado en la Isla de La Palma, los observatorios KECK I y KECK II de Hawai, el Gran Telescopio Sudafricano (SALT), así como el telescopio espacial HST (Hubble Space Telescope) puesto en órbita, entre muchos otros. La mayoría de los telescopios terrestres constan de grandes espejos reflectores compuestos en su mayoría por segmentos hexagonales, armados como panel de abeja, de aproximadamente cuarenta espejos más pequeños alineados entre sí. Los espejos de estos grandes reflectores oscilan entre seis y ocho hasta diez y doce metros de apertura. Algunos observatorios como el VLT constan de cuatro telescopios de 8,2 metros de diámetro, los cuales pueden ser usados individualmente, o bien, pueden ser unidos y conformar un gran 'interferómetro' (Longair, 2006; York, Gingerich, & Zhang, 2012). Todos estos telescopios se encuentran equipados con cámaras ccd y espectrógrafos de alta resolución, así como con fotómetros muy rápidos y de alta precisión. Una de las ventajas y avances tecnológicos más importantes en estos nuevos telescopios es su óptica. La misma se halla perfeccionada en dos sistemas conocidos como 'óptica activa' y 'óptica adaptativa' (McLean, 2013). Por un lado, el diseño de la óptica activa no permite que los grandes espejos de los telescopios se deformen debido a su gran peso, a las tensiones mecánicas y a las dilataciones y contracciones producidas por las diferencias de temperatura. Para remediar esta situación, se coloca una serie de 'actuadores' o pistones por debajo de cada celda o segmento del espejo, los cuales sostienen y corrigen la posición del mismo de manera sincronizada. Estos sofisticados pistones deforman diferentes zonas del espejo principal, manteniendo la concavidad necesaria. Así, el sistema de accionamiento del espejo depende de los 'sensores de borde', los cuales miden con una precisión del orden del nanómetro la curvatura del espejo. La información recogida por estos sensores es transmitida a un 'sistema de control', el cual analiza esta información y posteriormente acciona los pistones que ajustan finalmente la posición del espejo.

¹ Cabe mencionar que existen detectores electrónicos alternativos a los CCD, basados en una tecnología similar, los cuales se han desarrollado notablemente en los últimos años. De esta manera, los sensores GMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) se diferencian principalmente porque la transformación de los fotones de luz en carga eléctrica tiene lugar en cada uno de los píxeles que conforman el detector (conversión analógico-digital). Así, a diferencia de los ccd, las cámaras que incluyen dichos sensores son más rápidas en cuanto a la conversión de la señal y no requieren de sistemas de enfriamiento sofisticados. No obstante, los ccd son superiores en cuanto a su rango dinámico, a la resolución y al ruido generado, ya que el proceso de digitalización de la señal se lleva a cabo en un chip externo. El dilema en la elección de una u otra tecnología dependerá de los tipos de imágenes que se intentan obtener, es decir, tomas cortas en cuanto a tiempo e imágenes de gran campo (planetarias), o bien, imágenes del cielo profundo con gran detalle, respectivamente.

Por otro lado, el sistema de óptica adaptativa permite que la imagen, recogida por el espejo primario o principal, sea desviada a un espejo flexible tal que pueda deformarse lo suficiente para contrarrestar las perturbaciones ocasionadas por la atmósfera. Debido a que el subsistema que controla el espejo deformable debe ser ajustado en tiempo real con las distorsiones atmosféricas, las correcciones ópticas computadas de imágenes de prueba son obtenidas mediante una cámara de alta velocidad, también conocida como 'sensor de frente de onda'. En principio, la técnica consistía en ubicar estrellas brillantes cercanas y así obtener las imágenes de referencia. Actualmente, la técnica consiste en generar una estrella o una constelación artificial con un potente rayo láser que produce uno o varios puntos de emisión de luz en la capa de sodio de la atmósfera superior, para luego aplicar el sistema de óptica adaptativa a cualquier región del cielo. De esta manera, estos grandes telescopios terrestres aumentaron considerablemente su poder resolutivo, produciendo imágenes comparables con los telescopios espaciales (York et al., 2012).

De la observación astronómica visible a la invisible

Uno de los objetivos fundamentales de la astronomía observacional ha consistido en tratar de recolectar, con los instrumentos disponibles en cada época, la mayor cantidad de información proveniente de la gran diversidad observada de objetos astronómicos. Aunque actualmente se sabe que la naturaleza física de esta información puede ser diferente, la observación astronómica se ha apoyado principalmente, a través de los siglos, en la radiación electromagnética. Cada tipo de luz es diferenciado de otro según un parámetro físico conocido como la longitud de onda, el cual se puede medir de varias formas. De esta manera, los diferentes tipos de telescopios en Tierra sólo pueden detectar: las ondas de radio, la radiación infrarroja, la luz visible, el ultravioleta cercano y los rayos gamma; quedando fuera de alcance parte de la radiación ultravioleta (UV lejano) y los rayos X. Por consiguiente, se pueden clasificar diferentes tipos de telescopios, terrestres o espaciales, con detectores particulares para cada tipo de luz. De esta forma, las observaciones y las diferentes técnicas empleadas van a depender de instrumentos con diseños específicos.

Según Longair (2006), durante el siglo XVIII William Herschel había estudiado el 'calor radiante' proveniente de los diferentes rayos de luz del espectro solar. El experimento de Herschel consistía en medir con un termómetro las temperaturas de los diferentes rayos de luz, una vez descompuesta a través de un prisma. Él notó que la temperatura aumentaba cuando se pasaba del azul al rojo, e incluso la temperatura seguía aumentando más allá del rojo donde no se observaba ninguna luz aparente. De esta manera, Herschel descubrió que estos rayos 'invisibles' del Sol respondían a las mismas leyes de la refracción y de la reflexión de la luz visible. Estos resultados, sobre el descubrimiento de la radiación infrarroja, fueron publicados en un artículo en la *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*.

Después de la formulación de la teoría del electromagnetismo de J. C. Maxwell, se conoció que los rayos infrarrojos formaban parte del espectro electromagnético. Dicha radiación tenía una longitud de onda mayor que la luz visible, el infrarrojo cercano o próximo es una parte de esta radiación la cual se aproxima a la región visible del espectro. De esta manera, la astronomía infrarroja observa la emanación de esta radiación térmica tanto en los planetas como en las estrellas, lo cual permite determinar la atmósfera planetaria como las temperaturas estelares. También, la observación de objetos extensos en esta longitud de onda permite determinar la distribución de la energía térmica en las nubes de polvo y gas galáctico e intergaláctico. Así, la astronomía morfológica pudo revelar nuevas propiedades en las diferentes estructuras de los objetos astronómicos. Sin embargo, las llamadas ventanas atmosféricas no permitieron la observación infrarroja en todo su rango. Por ello, en 1983, se lanzó el primer telescopio infrarrojo, puesto en órbita alrededor de la Tierra, llamado IRAS (Infrared Astronomical Satellite). Las observaciones de este nuevo telescopio permitieron hacer un reconocimiento de todo el cielo, detectando longitudes de onda en la región lejana del rango infrarrojo. Así, con este mapa, los detectores IR instalados en los observatorios terrestres más grandes pudieron observar en la región del infrarrojo cercano muchos objetos distantes y tomar nuevas imágenes en esta longitud de onda, de galaxias ya observadas. En la actualidad, el mayor telescopio de rayos infrarrojos llamado Spitzer o SIRTf (Space Infrared Telescope Facility) que ha orbitado la Tierra constaba de un telescopio tipo Ritchey-Chretien con detectores de última generación, los cuales fueron diseñados para soportar las extremas bajas temperaturas del espacio. El Spitzer estaba equipado con una cámara IR, así como también con un espectrógrafo de alta y baja resolución y con un fotómetro de imágenes en multi-banda.

Sin embargo, el espectro electromagnético está conformado por otras radiaciones con diferentes longitudes de onda al visible y al IR. La radiación ultravioleta, descubierta en 1801 por Johann Wilhelm Ritter,

se halla situada en la otra región extrema del rango visible, formando también parte del espectro electromagnético. La radiación ultravioleta 'próxima o cercana' no es filtrada por la atmósfera terrestre. Así, el llamado rango óptico del espectro se halla constituido por la radiación IR lejana, por el rango visible y finalmente por los rayos UV cercanos. La radiación UV se halla presente tanto en la materia interestelar e intergaláctica como en las capas exteriores que conforman las estrellas. La astronomía UV esclareció muchos campos de la astrofísica, tanto el de la evolución estelar como el de la astronomía extragaláctica. Por lo tanto, las observaciones en esta longitud de onda permitieron conocer, aún con más detalle, las diferentes interacciones en los sistemas binarios de estrellas como así también las galaxias activas. Además, los diferentes análisis espectroscópicos en esta región del espectro hicieron posible que los astrónomos pudieran inferir que la Vía Láctea se halla rodeada con un halo de gas caliente. Tales observaciones fueron obtenidas mediante una serie de satélites artificiales OAO (Orbiting Astronomical Observatory) que culminó con el OAO-3 (Copérnico) en 1972. Posteriormente, en 1978, otro satélite equipado con un telescopio de radiación UV llamado IUE (International Ultraviolet Explorer), el cual orbitó la Tierra por casi 20 años, contribuyó con nuevos resultados y midió además el espectro de la estrella supernova 1987a que apareció en la Gran Nube de Magallanes. Con este análisis espectroscópico se pudo determinar, por primera vez, la estrella progenitora de una supernova. Los siguientes telescopios espaciales más importantes que han observado en la región de la radiación ultravioleta fueron el EUVE (Extreme Ultraviolet Explorer), y el recientemente retirado del servicio GALEX (Galaxy Evolution Explorer) (Longair, 2006).

Los telescopios ópticos pueden observar las radiaciones visibles, el IR lejano y el UV cercano; los radiotelescopios en cambio son antenas receptoras que detectan sólo las ondas de radio. A finales del siglo XIX se llevaron a cabo numerosos intentos fallidos en la detección de radiofuentes astronómicas. Recién en 1932, el ingeniero Karl G. Jansky de los laboratorios Bell de Nueva Jersey pudo detectar en el rango de las radioondas ruidos provenientes de regiones cercanas al centro de la Vía Láctea. Esto sucedió cuando él trató de rastrear con una antena interferencias producidas por fuentes terrestres lejanas. Posteriormente, un astrónomo aficionado estadounidense llamado Grote Reber pudo mapear las radioemisiones producidas en el centro galáctico con una antena parabólica de aproximadamente diez metros de diámetro. Pero no fue hasta 1943 que Reber pudo detectar y descubrir las emisiones radiales producidas por el Sol, las cuales habían perturbado e interferido notablemente años antes en los diversos sistemas de 'radar', durante la segunda guerra mundial.

De esta manera, la radioastronomía surgió y se desarrolló durante la década de los años cincuenta. De todas las astronomías 'invisibles', esta última fue la más notable en cuanto al instrumental desarrollado por los adelantos tecnológicos en los años de posguerra. Los diversos tipos de antenas de radio con sus respectivos detectores altamente sensibles proliferaron por casi toda Europa y Norteamérica. Muchas radiofuentes astronómicas fueron catalogadas en un gran número, sobre todo las galaxias visibles más distantes. Años más tarde, en 1963, fueron descubiertas otras radiofuentes más pequeñas llamados 'quásares'. De esta manera, las emisiones de estos nuevos objetos astronómicos presentaban un desplazamiento hacia el rojo muy pronunciado. A partir de esto, los radioastrónomos de esta época estimaban que tales objetos se hallaban a una distancia enorme. También en esta década, en 1965, y de forma similar a Jansky, Arno Penzias y Robert W. Wilson también de los laboratorios Bell, se toparon con un ruido que no podían eliminar de su antena y descubrieron accidentalmente la radiación de fondo de microondas o radiación cósmica de fondo de 3°K (-270°C), la cual tuvo grandes implicaciones en las teorías físicas y modelos cosmológicos contemporáneos sobre el origen del universo². Tres años después, los radioastrónomos descubrieron los 'pulsares'. Estos eran las primeras radiofuentes estelares observadas, las cuales consistían en estrellas de neutrones que giraban a gran velocidad emitiendo pulsaciones periódicas en esta región del espectro. Las ondas de radio poseen longitudes de demasiado largas, esto representó un gran desafío en la fabricación de antenas de una gran apertura para poder enfocar las señales entrantes y así producir radio-imágenes nítidas. El radiotelescopio estacionario más grande del mundo se encontraba ubicado en un valle formado por montañas en Arecibo, Puerto Rico. Este instrumento tenía una amplitud de aproximadamente 300 metros de diámetro. Además, en la actualidad existen una gran cantidad de radiotelescopios móviles de hasta 100 metros de diámetro. Estas

² Dado que la atmósfera filtra la radiación que comprenden las microondas, la confirmación observacional del descubrimiento de la radiación del fondo cósmico o CMB (Cosmic Microwave Background) se dio recién cuando se lanzó, a finales de la década de los 80, el satélite COBE (Cosmic Background Explorer) que detectó y midió anisotropías, a gran escala, de dicha radiación. Luego, a partir de una serie de experimentos realizados en la atmósfera con el BOOMERanG (Balloon Observations Of Millimetric Extragalactic Radiation and Geophysics) y con una serie de interferómetros en Tierra, tales como VSA (Very Small Array), DASI (Degree Angular Scale Interferometer) y el CBI (Cosmic Background Imager), se lanzó a principios del año 2000 la sonda WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe). Esta última pudo medir más precisamente las fluctuaciones o diferencias de temperatura en la radiación del fondo de microondas a grandes escalas angulares. El sucesor de esta misión es el satélite artificial Planck Surveyor, el cual fue lanzado en 2009, a fin de medir las anisotropías con una mejor sensibilidad y resolución.

grandes antenas parabólicas poseen una resolución de hasta un minuto de arco. Con el fin de aumentar el poder resolutorio de estos instrumentos, la mayoría de los observatorios actuales se encuentran dotados de un gran número de antenas conectadas entre sí, llamados 'interferómetros'. Siguiendo a Longair (2006), los radiotelescopios son capaces de alcanzar una resolución de aproximadamente un segundo de arco. Uno de los radiotelescopios más grandes, basado en este principio, se encuentra en Nuevo México, en los EE.UU. Este interferómetro, conocido como VLA (Very Large Array), cuenta con 27 antenas parabólicas de 25 metros de diámetro cada una. Las imágenes producidas por este instrumento son de alta resolución y son trabajadas mediante la técnica conocida como interferometría de muy larga base VLBI (Very Long Baseline Interferometry). En la actualidad, también se desarrollan observaciones en longitudes de onda milimétricas y submilimétricas dentro de la región de las microondas. El radiotelescopio más grande construido hasta el momento es el GTM (Gran Telescopio Milimétrico) de cincuenta metros de diámetro, ubicado en la cima del volcán Sierra Negra en el Estado de Puebla, en México. Uno de los objetivos fundamentales de este instrumento consiste en observar y comprender los procesos físicos que intervienen en el desarrollo de las estructuras galácticas, su distribución a gran escala y también poder observar las irregularidades o anisotropías del fondo de radiación de microondas. En la actualidad, el interferómetro ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) en el llano de Chajnator en el desierto de Atacama en Chile, consta de 66 antenas de siete y doce metros de diámetro situadas a 5.000 metros de altura. Este interferómetro es uno de los proyectos astronómicos más costosos y está destinado a observar en estas regiones del espectro nubes de polvo y gas molecular del medio interestelar, obteniendo imágenes muy precisas de los procesos de formación de sistemas planetarios, estelares y de galaxias distantes, como así también los vestigios de la radiación inicial del big bang.

Por otro lado, es sabido que la atmósfera terrestre además de filtrar gran parte de la radiación ultravioleta, no permite el paso de los rayos X provenientes de diversos cuerpos astronómicos. A finales del siglo XIX, William Roentgen descubrió accidentalmente un nuevo tipo de radiación electromagnética la cual denominó rayos X. Al poco tiempo de su descubrimiento, se estudiaron las propiedades físicas de estos rayos y su capacidad para atravesar diferentes sustancias. Según Longair (2006), las principales aplicaciones de estas investigaciones se dirigieron fundamentalmente a la medicina y a la industria. La astronomía de rayos X no surgió sino hasta después de la segunda guerra mundial. Los primeros telescopios, de este tipo de luz, se componían de una combinación de espejos parabólicos e hiperbólicos, los cuales reflejaban y enfocaban estos rayos produciendo una imagen. Estos telescopios, también llamados de 'incidencia rasante', eran diferentes a los telescopios ópticos debido a que las propiedades de reflexión, refracción y difracción de estos rayos son ligeramente diferentes a la luz visible. Otro diseño instrumental para la observación de estos rayos es conocido como el 'telescopio multicapa'. Este último consta de un espejo primario semiplano compuesto de varias capas ultra finas que intensifican los rayos, los cuales atraviesan el espejo y son reflejados al detector del telescopio, el cual puede ser un ccd, un detector de placa micro-canal o una cámara de ionización. La aplicación de estos últimos en la astronomía no se dio sino hasta 1970 con el satélite *Uhuru*, con el cual se pudieron detectar las primeras fuentes de rayos X en estrellas binarias en nuestra galaxia. Los primeros detectores de este tipo de radiación eran muy rudimentarios y similares a un contador Geiger. Tales detectores llamados contador proporcional, podían registrar la incidencia de un fotón de luz y medir su longitud de onda. Posteriormente, uno de los programas más importantes fue el HEAO (High Energy Astrophysics Observatory) de tres satélites con telescopios de rayos X instalados para poder detectar fuentes distantes de esta radiación. Uno de estos telescopios podía producir sorprendentes imágenes mediante detectores bidimensionales, el cual se lo conoció como el observatorio Einstein (HEAO B). Este instrumento poseía un contador de fotones IPC (Imaging Proportional Counter), el cual podía determinar y medir no sólo la energía o frecuencia del fotón de rayos X sino también la posición de incidencia, de modo tal que podía reconstruir una imagen de la fuente. Además, este telescopio contaba con otro detector cinco veces más sensible, el cual podía producir imágenes con tanto detalle como cualquier telescopio óptico. Además, estos instrumentos revelaron que muchas galaxias y cuásares activos eran potentes emisores de esta radiación. En tiempos más recientes, el telescopio de rayos X ROSAT (Roentgen Satellite) proporcionó aspectos más detallados y fue capaz de catalogar cerca de 60.000 fuentes de rayos X. Posteriormente los telescopios de rayos X Chandra y XMM-Newton extendieron este catálogo con más de 30.000 nuevos objetos. Los principales objetivos de estudio de estos satélites es observar fenómenos astrofísicos energéticos como explosiones de supernovas, núcleos de galaxias activas (AGN), galaxias centrales (de tipo cD) en cúmulos de galaxias, entre otros (York et al., 2012).

Finalmente, los rayos gamma, con longitudes de onda más cortas que los rayos X, requieren de otros tipos de telescopios y detectores especiales. Tal radiación es producida principalmente por la desintegración progresiva en la interacción de los rayos cósmicos con la materia interestelar. De esta manera, la astronomía de rayos gamma observa diferentes objetos astrofísicos donde suceden procesos de alta energía, tales como estrellas de neutrones, cuántares y agujeros negros. Debido a que la mayoría de esta radiación es también absorbida por la atmósfera de la Tierra, uno de los primeros observatorios de rayos gamma, llamado CGRO (Compton Gamma-ray Observatory), fue puesto en órbita en 1991 con cuatro telescopios que detectaron cerca de cien ‘estallidos’ de dicha radiación. Estos instrumentos no tuvieron éxito al localizar las respectivas fuentes de dicha radiación. Posteriormente, gracias a las observaciones realizadas por algunos observatorios ópticos terrestres conjuntamente con el telescopio espacial HST (Hubble Space Telescope), se pudo determinar la distancia a la cual se producía uno de estos estallidos de radiación gamma. Actualmente se siguen estudiando estos fenómenos con el observatorio de rayos gamma Integral (International Gamma-Ray Astrophysics Laboratory), el cual observa principalmente estallidos de rayos gamma asociados a estrellas de neutrones y supernovas. Además, se encuentran los telescopios MAGIC (Major Atmospheric Gamma-ray Imaging Cherenkov Telescope) y el observatorio HAWC (High Altitude Water Cherenkov). Recientemente, se inauguró el observatorio de rayos gamma HESS (High Energy Stereoscopic System) de Namibia en Sudáfrica. Los telescopios de estos observatorios están destinados a la observación de rayos gamma astrofísicos y también son capaces de detectar la radiación de Cherenkov al colisionar los fotones gamma con ciertos átomos en la atmósfera terrestre.

De la astronomía multi-onda a la astrofísica de partículas

Los astrónomos adquieren conocimiento del universo a través del estudio de diferentes señales que les llegan, cuya naturaleza física es diversa. Una de las formas más relevantes, como se ha mencionado en el apartado anterior, surge de la radiación electromagnética. Sin embargo, existen otras basadas en interacciones físicas esencialmente diferentes. La radiación electromagnética viaja a la velocidad de luz y se comporta como una onda, o bien, como un flujo de fotones (Bradt, 2004). Estas propiedades físicas, tanto ondulatorias como corpusculares, permiten la conversión, a través de relaciones numéricas, entre longitudes de onda, frecuencias y energías. De esta manera, como se ha descrito antes, dicha radiación posee bandas que se extienden desde las ondas de radio, con frecuencias extremadamente bajas, hasta los rayos gamma con rangos energéticos muy elevados. No obstante, la atmósfera terrestre absorbe gran parte de la radiación que proviene del espacio. En este sentido, algunas frecuencias sí penetran la atmósfera. Estas ventanas permiten llevar a cabo observaciones desde la superficie; mientras que en otras frecuencias la atmósfera es opaca. Así, las observaciones deben realizarse por encima de aquellas capas que absorben los fotones y es factible gracias a la diversidad de telescopios espaciales disponibles. De una u otra manera, la astronomía multi-frecuencia provee las contrapartidas electromagnéticas de aquellos fenómenos astrofísicos que son observados en base a otras interacciones fundamentales, como los rayos cósmicos, los neutrinos y las exóticas ondas gravitacionales. La investigación de los rayos cósmicos de altas energías³ forma parte de la llamada física de astro-partículas, la cual va más allá de la astronomía electromagnética. Sin embargo, existe una notable contribución entre estos ámbitos diferentes de la astrofísica actual, abriendo las puertas a una astronomía de mensajeros múltiples⁴. Ello significa el intercambio de la información observacional adquirida por una u otra vía, la cual sirve como soporte evidencial al momento de caracterizar un objeto, una propiedad del mismo, o bien, un fenómeno particular. El reciente descubrimiento de las ondas gravitacionales en 2016, confirmó las detecciones previas de ondulaciones en el espacio-tiempo causadas por objetos astrofísicos distantes, tales como: la colisión de dos galaxias, la explosión de supernovas, la formación de agujeros negros súper-masivos o la fusión de dos estrellas de neutrones (kilonovas), las cuales poseen su contraparte electromagnética (explosiones de rayos gamma de corta duración). Más allá de la importancia que posee una nueva confirmación observacional de la teoría de la relatividad general de Einstein, el descubrimiento se asocia con

³ Según Longair (2006), los experimentos físicos realizados en las cámaras de niebla mostraron que a menudo se observaban lluvias de partículas de rayos cósmicos. La mayoría de estas últimas se observan también en la superficie de la Tierra y, de hecho, son efectos secundarios o terciarios de rayos cósmicos de muy alta energía que interactúan en las capas superiores de la atmósfera. Pierre Auger y sus colegas, a partir de observaciones con varios detectores separados, establecieron la extensión total de algunas de estas cascadas producidas. Para sorpresa de ellos, descubrieron que las mismas podían extenderse sobre áreas superiores a los cien metros sobre el suelo, generando una amplia variedad de partículas ionizadas. Esto fue la evidencia más directa de la aceleración de partículas cargadas con energías extremadamente altas, provenientes del espacio exterior. Gracias al reciente descubrimiento del Observatorio Pierre Auger, los científicos argentinos lograron determinar que las direcciones de arribo de la mayor parte de los rayos cósmicos, que generan la cascada atmosférica extensa, provienen de galaxias cercanas con núcleos activos. Así, las astrometrías determinaron las fuentes de tal radiación, apuntando a los centros de galaxias próximas tales como Centaurus A, entre otras.

⁴ Cabe destacar que también forma parte de la astronomía de mensajeros múltiples, como otra fuente de información disponible, el estudio de la materia clásica que llega desde el espacio, en forma de meteoritos, polvo interplanetario, desechos de cometas, etc.

una potencial fuente nueva de información astrofísica sobre eventos violentos que acontecen en el universo observable. Los científicos concluyen que las primeras ondas gravitatorias detectadas fueron producidas durante una fracción de segundo antes de la fusión de dos agujeros negros, generando otro de mayor masa⁵. Dichas ondas fueron observadas a través de los detectores de dos observatorios que conforman el LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory), situados a más de 3.000 km. de distancia. Por otra parte, a mediados del 2017, el observatorio estadounidense LIGO conjuntamente con el interferómetro europeo VIRGO captaron ondas gravitacionales provenientes de un punto específico del espacio. Estos instrumentos pudieron triangular la fuente cósmica de las ondas. Segundos después, una vez arrojados los datos astrométricos, dos observatorios de rayos gamma detectaron brotes de tal radiación asociados al mismo evento. Luego, otros telescopios, en otras longitudes de onda, observaron este fenómeno revelando que el mecanismo astrofísico que había generado los brotes de rayos gamma se debía a una kilonova que se había formado en una galaxia elíptica remota. A diferencia de la fusión de dos agujeros negros, los cuales no emiten ninguna radiación, el cataclismo producido por la fusión de dos estrellas de neutrones sí posee una contraparte electromagnética (Díaz et al., 2017)⁶. En este estudio de caso se muestra la importancia del cruce de astronomías basadas en físicas diferentes, una provee las astrometrías y la otra la astrofísica necesaria para la identificación y clasificación de nuevas entidades en el cosmos.

En los apartados 3, 4, y 5 se ha tratado de hacer una breve descripción histórica, mostrando la evolución de estos instrumentos y de sus auxiliares a partir del avance de nuevas tecnologías que produjeron transformaciones en la precisión y en el poder resolutivo de los mismos. Ello ha permitido la caracterización de nuevas entidades astronómicas, las cuales han sido observadas a través de sus propiedades y atributos emergentes. También, se ha hecho notar el paso de la astronomía electromagnética visible a la 'invisible', como así también sus vínculos con la astrofísica de partículas. La metamorfosis que ha sufrido el concepto de observación en la astronomía contemporánea ha cambiado paulatinamente la concepción científica del universo observable, como así también su misma reflexión.

Algunas consideraciones filosóficas sobre el concepto de observación

Es claro notar cómo los adelantos tecnológicos han transformado, desde hace décadas, la noción de observación en astronomía. Como se mencionó antes, las prácticas y las técnicas observacionales dependen fuertemente de este desarrollo tecno-científico, el cual ha ido configurado nuevas maneras de observar. 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. A propósito, se mencionarán algunos autores que podrán ser tomados como puntos de partida para lograr este tipo de análisis, sensible a las prácticas científicas, generando un contexto propicio de enseñanza y difusión de esta problemática filosófica⁷.

Desde la perspectiva de la filosofía de la ciencia, la observabilidad ha sido caracterizada a partir de la dicotomía entre entidades observables y entidades inobservables. En pocas palabras, algunos autores sostienen que no hay un criterio de distinción que sea lo suficientemente robusto y, en consecuencia, proponen la idea de un 'continuo' entre tales entidades (Maxwell, 1989). Otros, en cambio, proponen esquemas diferentes de esta dicotomía (Fraassen, 1980). Varios se alejan de esta distinción poniendo énfasis en las interacciones físicas y definiendo que "[...] lo que cuenta como una observación es una función del estado prevaeciente del conocimiento acerca del mundo físico [...]" (Shapere, 1989, p. 488-489). Otras propuestas (Kosso, 1988, 2006) sugieren hacer hincapié en los procesos involucrados en la adquisición de la información observacional. Precisamente, al identificar y distinguir las diversas formas en las cuales se puede obtener tal información, se sostiene que la observabilidad posee grados de libertad o dimensiones asociadas a interacciones que no son sólo físicas. En términos generales, este tratamiento afirma que la observación consiste en obtener información del mundo, considerando su transmisión desde la fuente hasta el observador. Cabe destacar que este enfoque distingue dos procesos básicos: la naturaleza de la señal transmitida y la señal

⁵ El conocimiento de las masas de los dos agujeros negros, antes de fusionarse, es una información valiosa sobre los procesos astrofísicos asociados a la evolución estelar. Asimismo, el hecho de que ambos objetos estén dispuestos en un sistema binario, impone condiciones iniciales y de contorno al escenario sobre la formación del mismo sistema.

⁶ En Argentina el proyecto TOROS (Transient Optical Robotic Observatory of the South) asociado a la búsqueda de fenómenos transitorios en galaxias vecinas (supernovas, kilonovas, etc.) se vincula con la conformación de evidencias ópticas, las cuales son la contraparte electromagnética durante la detección de ondas gravitacionales. Este proyecto consta en la actualidad de tres telescopios ubicados de forma estratégica, uno de ellos en el Cerro Tololo (Chile) y los otros dos en Argentina, en el Cerro Macón (puna salteña) y en la Estación Astrofísica de Bosque Alegre (Córdoba).

⁷ Es importante resaltar que esta problemática no sólo resulta de interés particular para la astronomía, sino que es relevante para aquellas ciencias naturales como la biología molecular o la sismología, por citar algunas, que poseen una fuerte dependencia de la tecnología.

como transporte de la información. La primera alude a las interacciones físicas fundamentales, mientras que la segunda hace referencia a aquellas 'interacciones' dadas a partir procesos epistémicos variados. El valor de estas últimas se corresponde al contenido informacional adquirido en los reportes observacionales de determinados objetos y de sus respectivos atributos observables.

En esta dirección, dado que la observabilidad está relacionada a propiedades cuantificables, otros autores consideran que en este vínculo sigue habiendo una fuerte dependencia de los objetos físicos involucrados (Chang, 2004). Según este planteamiento existen numerosas observaciones que no están asociadas a objetos particulares sino a procesos dados, ya sean tanto por relaciones, así como también por correlaciones entre diferentes propiedades observables. Estas últimas pueden asociarse a mediciones de cantidades determinadas que no poseen una referencia concreta con los eventuales objetos involucrados en un hecho o situación observacional particular, la cual es configurada por la escala de observación, la perspectiva y el punto de vista del observador. Estas posturas sugieren un corrimiento de nociones de la observabilidad basadas exclusivamente en objetos a otras que contemplan eventos o procesos físicos que incluyen propiedades y relaciones entre ellas. Se sostiene aquí, que el análisis subyacente atenúa el debate filosófico realismo-antirrealismo. Esto se debe a una extensión considerable del ámbito de fenómenos, el cual exhibe no sólo objetos y sus respectivas propiedades, sino además los procesos que emergen de las relaciones entre ellas. Dicha posición conduce, eventualmente, a la aceptación de un realismo de propiedades (Humphreys, 2004).

Conclusión

En las últimas décadas, los cambios representacionales en la astronomía y en la cosmología observacional han influenciado, notablemente, no sólo la forma en la cual se observan los fenómenos astrofísicos, su evolución y el universo como un todo, sino también la manera reflexiva de concebirlo. Estas nuevas concepciones se encuentran impregnadas de 'imágenes', tanto cotidianas como científicas (Sellars, 1971), cuya articulación y eventual confluencia constituyen uno de los objetivos centrales del análisis epistemológico y la importancia de su enseñanza en esta disciplina. Como se mencionó antes, las prácticas observacionales astronómicas dependen profundamente de los avances tecnológicos en el instrumental empleado. Esto parece desplazar el rol protagónico del astrónomo, tanto amateur como profesional, de los sofisticados procesos inherentes a la adquisición del conocimiento en esta disciplina científica. Sin embargo, aquí se abogó a favor de una perspectiva integradora, la cual reivindica el lugar del agente epistémico humano en la complejidad de los procesos observacionales actuales.

Este trabajo intentó mostrar cómo, a través de la historia de la astronomía y de su divulgación, puede enseñarse a reflexionar sobre una noción fundamental, tal como lo es el concepto de observación en esta disciplina. Para ello, fue necesario explorar el desarrollo de algunos instrumentos en la historia reciente de esta ciencia natural, aludiendo a diferentes conceptos tecno-científicos propios de la misma. De esta manera, el análisis filosófico permite el planteamiento de interrogantes tales como: ¿qué se considera actualmente una observación astronómica?, ¿cómo se lleva a cabo la misma? y ¿cuáles son sus 'rostros' epistemológicos? Más precisamente: ¿cuáles son las interrelaciones existentes entre las prácticas observacionales llevadas a cabo por los astrónomos y los instrumentos de observación empleados? y ¿cómo a partir del desarrollo tecnológico y la producción de nuevos instrumentos se definen nuevas técnicas observacionales? Se considera aquí que propiciar la enseñanza de la elaboración de este tipo de cuestionamientos, dentro de este ámbito disciplinar específico, les permitiría a los astrónomos y a los estudiantes avanzados de astronomía liberarse de sesgos y de prejuicios, tanto epistémicos como metodológicos. Así, ellos podrán darle una nueva forma a un problema observacional concreto, apelando a nuevas estrategias de búsqueda, o heurísticas, las cuales conducirán eventualmente a la resolución del mismo; en particular, vinculando estas estrategias con ciertos estándares para la identificación, la clasificación y el reconocimiento de patrones observacionales.

Agradecimientos

Se agradece especialmente el apoyo, dirección y asesoramiento del Prof. Víctor Rodríguez (FFyH, UNC), los comentarios y sugerencias del Dr. Néstor Camino (CONICET-FHCS, UNPSJB) y la colaboración técnica del Dr. Rubén Díaz (OBSERVATORIO GEMINI-NSF, USA).

Referencias

- Ausubel, D., Novak, J., & Hanesian, H. (1983). *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. (2a ed.). México, MX: Trillas.
- Bradt, H. (2004). *Astronomy methods: a physical approach to astronomical observations*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Camino, N. (2010). La investigación educativa en didáctica de la astronomía. Características y propuestas concretas. In M. Gómez, S. Paolantonio, & C. Parisi (Eds.), *Actas del workshop de difusión y enseñanza de la astronomía 2009* (p. 3-15). Córdoba, AR: Asociación Argentina de Astronomía.
- Camino, N. (2012). La didáctica de la astronomía como campo de investigación e innovación educativas. In P. Bretones (Comp.), *Actas electrónicas del I Simpósio Nacional de Educação em Astronomia (SNEA I)*. Rio de Janeiro, RJ: SNEA.
- Camino, N. (2018). Reflexiones sobre la enseñanza de la astronomía. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 13(2), 193-194. DOI: <https://doi.org/10.14483/23464712.13679>
- Chang, H. (2004). *Inventing temperature: measurement and scientific progress*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Díaz, M. C., Macri, L. M., Garcia Lambas, D., Mendes de Oliveira, C., Nilo Castellón, J. L., Ribeiro, T., ... Zdrozny, A. (2017). Observations of the first electromagnetic counterpart to a gravitational-wave source by the TOROS collaboration. *The Astrophysical Journal*, 848(2), 1-5. Recuperado de <https://iopscience.iop.org/article/10.3847/2041-8213/aa9060>
- Fraassen, C. B. van (1980). *The scientific image*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Hanson, N. R. (1977a). *Observación y explicación*. (A. Montesinos, Trad.). Madrid, ES: Alianza.
- Hanson, N. R. (1977b). *Patrones de descubrimiento* (E. G. Camarero, Trad.). Madrid, ES: Alianza.
- Humphreys, P. (2004). *Extending ourselves: computational science, empiricism, and scientific method*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Kosso, P. (1988). Dimensions of observability. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 39(4), 449-467. DOI: <https://doi.org/10.1093/bjps/39.4.449>
- Kosso, P. (2006). Detecting extrasolar planets. *Studies in History and Philosophy of Science*, 37(2), 224-236. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2005.05.001>
- Longair, M. (2006). *The cosmic century: a history of astrophysics and cosmology*. New York, NY: Cambridge University Press.
- Maxwell, G. (1989). El estatus ontológico de las entidades teóricas. In O. Morett, L. Rogelio, & A. R. Pérez Ransanz. *Filosofía de la ciencia: teoría y observación* (p. 116-144). México, MX: Siglo XXI Editores; UNAM.
- McLean, S. I. (2008). *Electronic imaging in astronomy: detectors and instrumentation*. Berlin, DE: Springer.
- McLean, S. I. (2013). *Planets, stars and stellar systems: telescopes and instrumentation* (Vol 1, T. D. Oswalt, Ed.). Dordrecht, NL: Springer.
- Sellars, W. (1971). *Ciencia, percepción y realidad* (V. Sánchez de Zavala, Trad.). Madrid, ES: Editorial Tecnos.
- Shapere, D. (1989). El concepto de observación en ciencia y en filosofía. In O. Morett, L. Rogelio, & A. R. Pérez Ransanz. *Filosofía de la ciencia: teoría y observación* (p. 479-526). México, MX: Siglo XXI Editores; UNAM.
- York, D. G., Gingerich, O., Zhang, S.-N. (2012). *The astronomy revolution: 400 years of exploring the cosmos*. New York, NY: CRC Press.