

Serie: Tesis de Posgrado
e-Book

FILOSOFÍA

EL ROL DE LOS INSTRUMENTOS Y LA SIMULACIÓN EN LA OBSERVACIÓN
ASTRONÓMICA CONTEMPORÁNEA: UN ENFOQUE EPISTEMOLÓGICO

Maximiliano Bozzoli

Este trabajo gira en torno de la reflexión filosófica sobre el concepto de observación en la astronomía contemporánea. Se analiza el desarrollo tecnológico de los instrumentos más importantes de las últimas décadas en esta disciplina científica y se trata de responder los siguientes interrogantes: ¿qué se considera actualmente una observación astronómica?, ¿cómo se lleva a cabo la misma? y ¿cuáles son sus “rostros” epistemológicos? Precisamente, aquí se abordan los vínculos dados entre las prácticas observacionales más recientes y los instrumentos de observación vigentes que contribuyen a las mismas. En la medida en que dichas prácticas se han ido sofisticando, el concepto de observación tradicional ha ido perdiendo la capacidad de reflejar matices sutiles de relevancia epistemológica. Se han investigado los componentes tecnocientíficos asociados a la actividad en los ámbitos de la observación y de la simulación. La computación ocupa un rol central en los laboratorios astronómicos y las simulaciones establecen enlaces claves en el procesamiento de la información disponible. Aquí se analiza cómo pueden llevarse a cabo observaciones a través de simulaciones computacionales, mostrando cómo estas prácticas permiten no sólo el desarrollo de guías heurísticas en la resolución de problemas observacionales concretos, sino además la generación de nuevos conocimientos en tal disciplina. A partir de la metamorfosis que ha sufrido la noción clásica de observación, también lo ha hecho su misma reflexión. A través del método morfológico, se establece un meta análisis que permite identificar y clasificar las observaciones astronómicas.



Maximiliano Bozzoli: Doctor en Filosofía, se desempeña actualmente como docente adscripto en la Cátedra de Epistemología de las Ciencias Naturales de la Escuela de Filosofía, Facultad de Filosofía y Humanidades, Universidad Nacional de Córdoba (Argentina). Actualmente, es miembro del proyecto de investigación "Simulaciones computacionales y experimentación desde la perspectiva de las prácticas científicas: una aproximación epistemológica y metodológica" (FonCyT-PICT 2016) radicado en el Centro de Investigaciones de dicha Facultad. Se especializa en temas afines a la filosofía e historia de la astronomía/cosmología contemporánea. Ha participado en numerosas reuniones académicas y en eventos

tecnocientíficos nacionales e internacionales. Presenta regularmente y ha publicado artículos sobre esta temática particular, entre sus últimos trabajos se encuentran: "Validación de modelos computacionales en astronomía" (2017), "Cambios de representaciones visuales en cosmología observacional" (2018), "Observabilidad, procesos y pseudoprocesos en la observación y en la simulación en astrofísica" (2018) y "Validación de observaciones y de simulaciones astrofísicas" (2019).

EL ROL DE LOS INSTRUMENTOS Y LA SIMULACIÓN EN LA OBSERVACIÓN ASTRONÓMICA CONTEMPORÁNEA: UN ENFOQUE EPISTEMOLÓGICO

Maximiliano Bozzoli

Bozzoli, Maximiliano

El rol de los instrumentos y la simulación en la observación astronómica contemporánea: un enfoque epistemológico / Maximiliano Bozzoli. - 1a ed. - Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Filosofía y Humanidades, 2019.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-950-33-1558-3

1. Filosofía. 2. Astronomía. 3. Epistemología. I. Título.
CDD 121

Diseño de portada: Manuel Coll

Gestión digital: Noelia García



EL ROL DE LOS INSTRUMENTOS Y LA SIMULACIÓN EN LA OBSERVACIÓN ASTRONÓMICA CONTEMPORÁNEA: UN ENFOQUE EPISTEMOLÓGICO por Maximiliano Bozzoli se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución – No Comercial – Sin Obra Derivada 4.0 Internacional

“To eliminate the discrepancy between men's plans and the results achieved, a new approach is necessary.” / “Para eliminar la discrepancia entre los planes de los hombres y los resultados obtenidos, es necesario un nuevo enfoque.”

(Zwicky, 1948, p. 143)

Dedicado a Zenón M. Pereyra

Índice

Introducción	1
---------------------------	----------

Capítulo I. La observación astronómica contemporánea y sus instrumentos

I.1 Los grandes telescopios y los nuevos accesorios	12
I.2 Los nuevos detectores y los telescopios actuales	15
I.3 De la observación astronómica visible a la invisible	20
I.4 De la astronomía multi-onda a la astrofísica de partículas	27

Capítulo II. Auxiliares informáticos de la observación astronómica

II.1 Programación “oscura” y programación “tradicional”: una tensión actual en las prácticas computacionales	30
II.2 Los tres paradigmas de la ciencia de la computación	30
II.3 “Dark programming” y la racionalidad de los programas	37
II.4 El “ojo del experto” y los programas expertos en las prácticas observacionales astronómicas	40
§II.5 El “ojo del experto” y el “observador experto”: visualización y observación	42
§II.6 Los sistemas expertos: aspectos históricos y su aplicación en la astronomía	44
§II.7 SE basados en RNA: entrenamiento y limitaciones	48
§II.8 Ejemplo: los SE y el proyecto <i>Galaxy Zoo</i>	51

Capítulo III. Simulaciones computacionales en la observación astronómica

§III.1 El diseño de simulaciones digitales: una perspectiva desde las prácticas científicas	59
§III.2 Diseño de una simulación numérica: errores y validación interna	60
§III.3 La autonomía de los modelos en astronomía	67
§III.4 El rol y el alcance de la medición en la simulación astronómica	76
§III.5 Validación de modelos computacionales en astronomía	86
§III.6 Conexiones entre la observación y la simulación	88
§III.7 Tipos de validación de modelos de simulación	91
§III.8 Validación de modelos cosmológicos	93

Capítulo IV. Conceptos de observación

§IV.1 Repensando a Hacking: las representaciones y la naturaleza	100
§IV.2 De la representación a la intervención	102
§IV.3 La observación rigurosa y la observación controlada	106
§IV.4 Interpretaciones y patrones: el concepto de observación de Hanson	109
§IV.5 La observación cargada de teoría	114
§IV.6 El concepto de observación de Shapere	120
§IV.7 El concepto de observación de Kosso	131
§IV.8 El concepto de observabilidad de Hasok Chang: objetos vs. Propiedades	133
§IV.9 La noción de observabilidad de Kosso: interacciones y dimensiones	135
§IV.10 El método morfológico de Zwicky: generación y reconocimiento de patrones	138
§IV.11 Estudio de caso: propiedades observables de sistemas de galaxias	141
§IV.12 Inferencias abductivas	145
§IV.13 Patrones de razonamiento: aspectos generales y criterio de clasificación	146

§IV.14 Patrones abductivos: identificación y clasificación	150
§IV.15 Ejemplo astronómico: el descubrimiento del medio interestelar	153
§IV.16 Observabilidad, procesos y pseudoprocesos en la observación y en la simulación en astrofísica	159
§IV.17 Observabilidad y empirismo científico	161
§IV.18 Realismo de propiedades	165
§IV.19 Procesos y pseudoprocesos causales: datos observacionales y datos simulados	168
§IV.20 Lentes gravitacionales en astrofísica: observaciones y simulaciones	170

Capítulo V. Nociones afines a las prácticas observacionales

§V.1 El experimento	174
§V.2 Críticas al antirrealismo en la astrofísica	192
§V.3 Repensando la experimentación	202
§V.4 La evidencia	211
§V.5 Conceptos de evidencia	212
§V.6 Datos y fenómenos	214
§V.7 Ejemplo astronómico (primera parte)	217
§V.8 Datos y soporte evidencial	221
§V.9 Patrones en bases de datos	223
§V.10 Ejemplo astronómico (segunda parte)	225
§V.11 Revisando la distinción entre datos y fenómenos	229
§V.12 Evidencia y robustez	233
§V.13 Ejemplo astronómico (tercera parte)	236
§V.14 Modelos y representaciones visuales de datos	238
§V.15 Modelos de datos	239
§V.16 Selección y ajuste de parámetros en cosmología observacional	255
§V.17 Representaciones visuales de datos	260

§V.18	Representaciones visuales de datos observacionales	261
§V.19	Representaciones visuales de datos simulados	270
§V.20	Cambios de representaciones visuales en cosmología observacional	275

Conclusión	279
-------------------------	-----

Bibliografía	299
---------------------------	-----

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.

Esta tesis doctoral gira en torno de la reflexión epistemológica sobre el concepto de observación en astronomía. Aquí se investigará cómo se ha extendido el concepto de observación, a fin de comprender su complejidad a medida que evoluciona el mismo en este ámbito disciplinar. Existen, en la práctica astronómica, diversas prácticas asociadas con la observación. Ella 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. Posteriormente, con el desarrollo de ciertos instrumentos de medición 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. 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, lo cual significó el paso de la astronomía de posición (astrometría) a la inserción de dos campos de la física experimental (la fotometría y la espectroscopía, principalmente). 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. En este sentido, la observación se extiende nuevamente y puede caracterizarse como un proceso, o bien, como un resultado 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. 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 de la fuente observable. Y 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 al 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 programática una noción de experimento débil. Así, se abordará una experimentación no estricta en lo inherente a un proceso de observación. Además, se hará referencia a la producción y al 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 resolutorio de los telescopios, en general, y así obtener datos instrumentales cada vez más precisos. Para ello, se atenderá en cada capítulo la evolución 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 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. Con todos estos desarrollos, el concepto de observación ha sufrido una considerable metamorfosis en la astrofísica contemporánea.

En las últimas décadas, los cambios representacionales en la astronomía y en la cosmología 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, cuya articulación y eventual confluencia constituyen uno de los objetivos centrales del análisis epistemológico en esta disciplina. Según Sellars (1971), la diferencia básica entre un “saber cómo” y un “saber que” radica en que el primero presupone un trasfondo de conocimientos respecto de un hecho concreto; mientras que el segundo involucra las diferentes etapas o instancias afines a su desarrollo. El saber reflexivo o filosófico contempla los conocimientos adquiridos de las ciencias especializadas y, en este sentido, saber cómo se vinculan los objetos y sus propiedades de un ámbito particular con el resto de la empresa científica. Así, el especialista debe poseer no sólo conocimientos del fenómeno bajo investigación, sino además debe tener una leve idea de los principios que subyacen en los diversos métodos empleados. En otras palabras, este autor sostiene que un investigador ideal debería tener la capacidad de complementar el conocimiento específico de su área temática con un análisis filosófico sobre la misma, alcanzando así la totalidad del paisaje intelectual. Dichas disciplinas parecen perfeccionarse a través de su reflexión; sin embargo, dada la sofisticación del conocimiento científico adquirido, esta última se halla considerablemente limitada. De esta manera, el filósofo de una ciencia particular puede estar acotado, de igual modo como puede estarlo el científico. La complementariedad entre ambos permite una aproximación a las metas del pensamiento reflexivo. Debido a que las especializaciones también inciden en el ámbito de la filosofía, resulta necesario establecer un análisis de las partes que la componen. En esta dirección, siguiendo a Sellars, no hay nada que distinga a ambos, es decir, al filósofo del científico reflexivo. No obstante, sí puede diferenciarse la empresa filosófica de la científica en cuanto a su “mirada sobre la totalidad”. Según él:

“En la medida en que un especialista se preocupe más por reflexionar sobre la manera en que su trabajo especializado se aúne con otros empeños intelectuales que por preguntar y responder cuestiones dentro de su especialidad, diremos de él con toda razón que tiene una mente filosófica; y, en realidad, es posible “poner la mirada en el todo” sin fijar la vista en él incesantemente (cosa que sería una empresa estéril). Además, lo mismo que les sucede a otros especialistas, el filósofo que se especialice puede sacar gran parte de su idea del todo de la orientación pre-reflexiva que constituye nuestra herencia común.” (Sellars, 1971, p. 11)

Ello no significa que las ciencias especializadas se desarrollen para bien o para mal en la confusión total, dándole un rol crucial al filósofo para que arroje luz al respecto. Así, los científicos saben maniobrar en su propio campo; lo que no suelen adquirir de su entorno es parte del paisaje total. Tampoco la filosofía provee a los científicos los detalles de una imagen global captada desde el principio. Esta imagen debe ser entendida reflexivamente y la unidad debe ser lograda a través de un proceso de exploración y de comprensión de las partes que la integran, y no inicialmente. Sellars sostiene que el filósofo contemporáneo se enfrenta, no con una, sino con dos imágenes suministradas por una “visión” estereoscópica, la cual conjuga dos perspectivas diferentes de un mismo paisaje. Ambas imágenes poseen, en esencia, el mismo grado de complejidad y pretenden ser representaciones absolutas del puesto del hombre en el cosmos. Según este autor, al indagarlas separadamente, las dos deben fusionarse en otra única. Dichas perspectivas son caracterizadas por él como la “imagen manifiesta” o cotidiana y la “imagen científica” del hombre en el mundo. Sellars utiliza la ambigüedad del término “imagen” para referirse metafóricamente a lo concebido. Esta dualidad se remite, por un lado, al contraste entre un objeto (como una silla) y sus respectivas propiedades (como la sombra que arroja, por ejemplo). De esta manera, la imagen proyectada es tan perceptible como lo es el objeto que la produce. Por el otro, la imagen puede resultar de la imaginación y, por ende, puede o no corresponderse con la “realidad”. De todos modos, él restringe el alcance del imaginario sólo a los hechos concretos o situaciones tangibles (posibles y/o probables) del mundo

físico. Así, el filósofo se enfrenta con una concepción cotidiana y otra científica que surgen del entendimiento humano. La imagen manifiesta se constituye de un contexto, a partir del cual la humanidad toma conciencia de sí misma y de su lugar en el mundo. En otras palabras, dicha imagen representa un marco de referencia que no se contrapone a una imagen científica, es decir, la misma no es una concepción pre-científica e ingenua del puesto del hombre en el universo. Por lo tanto, Sellars sostiene que la imagen manifiesta no es otra más que una imagen “originaria” modificada y adaptada al escenario intelectual contemporáneo. Así, tal imagen es afinada o adecuada a los esquemas del pensamiento tanto empírico, como del categorial. La afinación empírica hace referencia a los preceptos que vienen dados del reino de las inferencias inductivas y estadísticas, las cuales organizan tanto las experiencias como las correlaciones físicas que acontecen en el mundo. Al igual que la imagen científica, la imagen manifiesta emplea ciertos aspectos y criterios asociados a los métodos científicos. Según este autor, éstos hacen posible una “inducción de correlaciones” entre los fenómenos percibidos (objetos y propiedades físicas) que acontecen en la naturaleza. No obstante, hay un razonamiento que no es utilizado dentro del ámbito de la imagen cotidiana, el cual se corresponde a la postulación de entidades no perceptibles, al momento de dar explicación de otras sí percibidas. Aunque la dicotomía entre observables e inobservables no tendría demasiado sentido en el contexto de esta imagen, los métodos de correlaciones y de generación de hipótesis, los cuales han marcado el desarrollo de la ciencia actual, son igualmente usados en la cotidianidad. Dado que la imagen manifiesta se halla construida en base a la adecuación de una imagen originaria, cabe el riesgo de que tal adaptación se encuentre influenciada por una filosofía perenne. En esta dirección, la imagen manifiesta, cargada de sesgos doctrinales, domina y perturba a la imagen científica. Como se verá en los capítulos finales y en la conclusión, esta inquietud forma gran parte de la motivación de científicos como Zwicky, quien estableció un método basado en la liberación de prejuicios.

La conversión de una imagen primigenia en otra cotidiana es dada no sólo por la adecuación empírica, sino además por otra categorial. Esta última es crucial a la hora de describir la estructura general de la imagen manifiesta. Ello conduce a una

clasificación de los objetos fundamentales y de las propiedades básicas que constituyen el ámbito de fenómenos considerados. Para Sellars, al filósofo sólo le interesa una taxonomía más bien abstracta que le permita desarrollar una perspectiva sinóptica del contenido ontológico de tal imagen, la cual constituye el marco de referencia de la experiencia perceptual humana. La instanciación de una imagen originaria en otra manifiesta no es estrictamente causal dado que esta última imagen se logra a partir de costumbres fuertemente arraigadas, las cuales son predecibles bajo ciertas circunstancias. Así, siguiendo a este autor, la concepción heredada de una tradición dominante no es estrictamente causación, sino predictibilidad. A diferencia, el mundo físico es el causante de la imagen que los individuos se forman con respecto al mismo. Sellars se ocupa en saber de qué manera tal imagen subsiste en relación con aquella concepción científica basada en las entidades propuestas por las teorías y los modelos de la ciencia contemporánea. A fin de integrar ambas imágenes en una perspectiva unificadora debe lograrse una articulación, a través de un proceso gradual, entre los puntos de vista tanto científico como el del sentido común. Esto permite acoplar la imagen que, a partir de la experiencia sensible, se tiene de las entidades de la vida cotidiana con aquellas caracterizadas por la ciencia física. Este autor sostiene que la imagen científica del hombre en el mundo, la cual forma parte de un proceso constructivo, es una idealización como la imagen manifiesta. La eventual contraposición de ambas representaciones no se da en el sentido de una postura científica con otra no científica, sino más bien la diferencia está en el alcance y los límites de los métodos de correlación empleados en cada caso, es decir: entre los acontecimientos accesibles a la percepción humana y la postulación de sucesos no perceptibles que expliquen las correlaciones percibidas. Este punto quedará claro cuando se aborde más adelante la temática afín a las inferencias abductivas. De todas maneras, lo que Sellars plantea es que ciertas regularidades de la naturaleza, identificadas perceptualmente, son correlaciones descubiertas antes de que ninguna teoría postule su existencia. De hecho, como se hará notar también más adelante, este ocasional conflicto entre lo cotidianamente observado y la ausencia de una formulación científica, sienta las bases de la controversia actual entre observaciones puras o pre-teóricas y la observación cargada de teoría. Este autor afirma que no hay una imagen construida a partir de

objetos, propiedades y procesos postulados por una sola teoría científica, sino una variedad de imágenes de este tipo, conforme a la pluralidad de ciencias existentes. El objetivo aquí consiste en integrar estas concepciones en una sola. Así, las diferentes teorías proveen distintas estructuras, las cuales están apuntaladas en la imagen del mundo manifiesto. Sin embargo, llevar a cabo este propósito no significa aunar disciplinas que, aunque recurran a métodos semejantes, acepten márgenes de error diferentes tales como sucede en la física experimental y en la astrofísica observacional, por ejemplo. Cada una de estas ciencias, aunque aborda ámbitos de fenómenos distintos con instrumentos muy variados, posee entidades que pueden ser vinculadas al mundo de los sentidos y ser accedidas de forma intersubjetiva.

La identificación y el reconocimiento de patrones en la naturaleza suelen basarse también en prácticas estadísticas, las cuales generan un entorno cotidiano propicio para establecer búsquedas heurísticas. A diferencia de este contexto de descubrimiento, el cual posibilita la confirmación observacional de dichas regularidades, desde un contexto de justificación tales correlaciones pueden explicarse conforme a las entidades, procesos y principios postulados por las teorías científicas bajo consideración. Según Sellars:

“...la concepción filosófica certera del hombre-en-el-mundo sería aquella que respaldase a la imagen manifiesta y situase en su interior la imagen científica a modo de instrumento conceptual empleado por el hombre manifiesto en su facultad de científico.” (Sellars, 1971, p. 41)

En este sentido, él otorga cierta primacía a la concepción científica del mundo, pero también asegura que esta imagen es incompleta dado que la naturaleza no ha revelado todos sus secretos. Tal imagen podría recrear, a través de sus principios y argumentaciones, ciertas sensaciones y percepciones que surgen de las personas en la imagen cotidiana. No obstante, la reconstrucción de ciertos aspectos netamente humanos dentro del marco científico sería en principio imposible. De acuerdo a Sellars, esta irreductibilidad puede ser contrarrestada al comprender y reflexionar sobre los rasgos y valores de cada individuo en torno al grupo social al que pertenece. De esta

manera, la comunidad se halla impregnada de intensiones que proporcionan el medio ambiente necesario, el cual debe añadirse a la imagen científica:

“...por lo tanto, para completar la imagen científica necesitamos enriquecerla, pero no con más maneras de decir lo que suceda, sino con el lenguaje de las intenciones de la comunidad y el individuo, de tal suerte que, al entender científicamente los actos que intentamos realizar y las circunstancias en que intentamos llevarlos a cabo, pongamos en relación directa con nuestros propósitos el mundo tal y como lo concibe la teoría científica, convirtiéndolo en nuestro mundo, y no ya en un apéndice ajeno al mundo en que vivimos.”
(Sellars, 1971, p. 49)

En particular, 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, en este escrito se abogará a favor de una perspectiva integradora, la cual reivindica el lugar del agente epistémico humano en la complejidad de los procesos observacionales actuales. Así, atendiendo a la propuesta de Sellars, se tomará como punto de partida crucial el análisis reflexivo, el cual trasciende la dualidad entre dichas imágenes para fusionarlas en una sola.

A los fines prácticos se organizará la lectura subsiguiente presentando, de forma esquemática y concisa, los objetivos y las hipótesis planteados previamente en el marco teórico de esta introducción. Con ello se pretende guiar la tarea del lector, permitiendo que éste pueda articular las ideas y nociones más relevantes y, a su vez, distinguirlas de aquellos ámbitos afines a la filosofía y a la divulgación científica. Como se mencionó antes, uno de los objetivos generales consiste en analizar el concepto de observación en la práctica astronómica contemporánea. En la medida en que la investigación lo requiera, se explorará la evolución de algunos instrumentos en la historia de la astrofísica. De esta manera, se responderán las siguientes preguntas: ¿qué se considera actualmente una observación astronómica?, ¿cómo se lleva a cabo la misma? y ¿cuáles son sus “rostros” epistemológicos? Más precisamente, se mostrará desde una perspectiva epistemológica cuáles son las interrelaciones existentes entre

las prácticas observacionales llevadas a cabo por los astrónomos, los instrumentos de observación empleados y ciertas simulaciones computacionales que contribuyen a dichas prácticas. Otro de los objetivos consiste en mostrar cómo a partir del desarrollo de tecnologías y la elaboración de instrumentos actuales se definen nuevas técnicas para la producción de las representaciones visuales. Parte de este objetivo es destacar la importancia de la utilización de dichas representaciones en un determinado proceso de observación. Se conceptúa que esto es importante para definir nuevas estrategias de búsqueda, o heurísticas, para la resolución de problemas en el ámbito disciplinar específico. En particular, interesa la vinculación de estas estrategias con ciertos estándares y el reconocimiento de patrones. De manera específica, se analizará la dependencia de las prácticas observacionales actuales de los instrumentos de observación. Para ello será necesario realizar una aproximación a los instrumentos vigentes, intentando explicitar sus alcances y límites, así como en algunos casos la evolución de los mismos. Además, se abordará el lugar que tienen las simulaciones computacionales en las prácticas observacionales, a los fines de interpretar desde una perspectiva sensible a los aspectos epistemológicos la vinculación entre estas simulaciones y el análisis de los datos obtenidos por observación mediante auxiliares informáticos variados. En esta dirección, se dará un lugar destacado a las representaciones visuales dentro de estas prácticas observacionales, atendiendo en la medida de lo posible, tanto a los procesos de observación, como a los resultados finales de dichos procesos. Para alcanzar estos objetivos, se tomarán en consideración las siguientes hipótesis de trabajo: a) En la medida en que las prácticas astronómicas se han ido complejizando, el concepto de observación tradicional en dicha disciplina ha ido perdiendo la capacidad para reflejar matices sutiles de relevancia epistemológica, propios de la complejidad de esta actividad científica. Por ello, se conjetura que una investigación minuciosa de los componentes tecno-científicos asociados con la observación, así como de sus consecuencias para la misma, enriquecen el perfil del concepto analizado. b) En el desarrollo actual de esta disciplina, la simulación computacional, entre otras funciones, está estableciendo un puente necesario entre el procesamiento instrumental de la información astronómica y las representaciones visuales de la misma. c) A pesar del cambio de roles que ha tenido la representación

visual en la astronomía de las últimas décadas, todavía sigue cumpliendo un rol protagónico importante en las diferentes fases de la actividad observacional. d) Estos cambios en las prácticas observacionales, sobre todo de las últimas décadas, obligan a repensar la integración entre modelos representacionales, enfoques epistemológicos sobre la experimentación, y la naturaleza de las inferencias en torno de los datos obtenidos por medio de estas prácticas.

Por último, cabe mencionar que esta tesis se compone de cinco capítulos. Cada uno de ellos, además de interrelacionarse, se halla conformado por una serie de secciones o párrafos vinculados argumentativamente entre sí, los cuales están notados con el símbolo “§” seguido del número del capítulo correspondiente, seguido a su vez del número de apartado en forma correlativa. Además, las citas en inglés presentes en algunos apartados están precedidas por su correspondiente traducción al castellano realizada por el autor de este escrito. También, en aquellos capítulos que contienen figuras, las mismas se hallan notadas entre corchetes con el término “**FIG.**” seguido del número de capítulo correspondiente, seguido a su vez del número de figura en forma correlativa.

Capítulo I. La observación astronómica contemporánea y sus instrumentos

I.1 Los grandes telescopios y los nuevos accesorios

Durante las últimas décadas han ocurrido considerables cambios y desarrollos en los instrumentos astronómicos. Los nuevos accesorios y las nuevas técnicas han tomado un lugar importante en el conocimiento observacional; no sólo debido al incremento de la precisión, resolución y eficiencia de los instrumentos, sino a la comprensión y a la caracterización de nuevas entidades astrofísicas. En el dominio de la óptica clásica, la fabricación de instrumentos cada vez más grandes culminó con el telescopio reflector Hale de 200 pulgadas del observatorio de Monte Palomar a finales de 1949. En la búsqueda de telescopios más grandes, mucho de estos nuevos reflectores habían sido diseñados con vidrios templados o *Pyrex* en vez de vidrio común y se instalaron en destacados observatorios de esa época, tales como el observatorio de Lick en el Monte Hamilton en California, el cual disponía de un telescopio reflector de 120 pulgadas. Además, se construyeron en diferentes observatorios del hemisferio sur, telescopios reflectores de gran envergadura con el fin de equiparar la instrumentación en ambos hemisferios. Por otro lado, el desarrollo de los llamados *telescopios catadióptricos*, los cuales combinaban espejos y lentes, solucionaron en gran medida los defectos ópticos tales como las aberraciones esférica y cromática y la coma que presentaban los diferentes sistemas ópticos (el doblete astrográfico, el triplete de Cooke y la lente de Ross) que constituían las cámaras astrográficas de ese entonces. Así, el telescopio catadióptrico de *Ritchey-Chrétien*, inventado por el astrónomo estadounidense George Ritchey y el óptico francés Henri Chrétien, reducía notablemente la coma. También, el desarrollo de la “cámara Schmidt” en la primera mitad del siglo pasado ha puesto en las manos de los astrónomos un instrumento muy poderoso para la exploración de extensas áreas del cielo y permitió un nuevo mapa fotográfico del cielo en dos colores (azul y rojo). Este proyecto fue avalado por la *American National Geographic Society* y llevado a cabo con los grandes telescopios Schmidt de 48 pulgadas de los observatorios de Monte Wilson y Palomar.

Otros instrumentos fueron derivaciones de los telescopios Schmidt, tales como los telescopios o “cámaras Maksutov” desarrollados por la ex Unión Soviética y la “cámara Baker-Schmidt” perfeccionada en los EE.UU. Por otro lado, el principio de estas cámaras tuvo grandes aplicaciones en el campo de la espectroscopía y de la fotografía de nebulosas y de galaxias. Otros accesorios utilizados, a la par de estos grandes telescopios, eran las *células fotoeléctricas* y las *lámparas fotomultiplicadoras*. Así, la fotometría fotoeléctrica en astronomía condujo a notables experimentos, pero no fue hasta después de la segunda guerra mundial que el impacto de la fotoelectricidad en técnicas astronómicas comenzó a ser apreciado con mayor intensidad. Uno de los desarrollos técnicos más importantes fue el perfeccionamiento del *amplificador termiónico*, utilizado por A. E. Whitford en 1932 y el desarrollo del multiplicador electrónico por B. K. Zworykin fabricados por la R.C.A. De igual modo que la fotometría fotográfica desplazó ampliamente a la visual, la fotometría fotoeléctrica desplazó a la fotográfica al momento de precisar los estándares de magnitud tanto en estrellas variables de período corto (cefeidas), como en la comparación fotométrica de ciertos objetos difusos con estrellas.

“Phenomena of a delicacy placing them beyond the capabilities of previous photometric methods have become observable and amenable to rigorous analysis.” / “Al ubicar los fenómenos más allá de las capacidades de los anteriores métodos fotométricos, los mismos se han convertido en observables y susceptibles de análisis rigurosos.” (De Vaucouleurs, 1957, p. 237)

De esta manera, los adelantos tecnológicos en el instrumental conducen a una serie de descubrimientos importantes tales como: el de J. S. Hall y W. A. Hiltner, quienes descubrieron en 1947 la polarización de la luz de estrellas distantes, la detección de estructuras finas en el diagrama de Hertzsprung-Russell y la fotometría multicolor de estrellas opacas. Tales descubrimientos condujeron a una determinación más precisa de la curva de absorción del medio interestelar en 1949, y a una clasificación más refinada de la luminosidad espectral de las estrellas. Además de las aplicaciones importantes de las fotocélulas y de los fotomultiplicadores de imagen, otros accesorios necesarios, en los nuevos telescopios, eran los *sistemas de autoguiado*.

Estos dispositivos podían reducir el arduo trabajo de los astrónomos al momento de corregir manualmente los leves movimientos del telescopio durante las largas exposiciones fotográficas y espectroscópicas. También, los *microfotómetros* y los *isofotómetros* automáticos de intensidad directa fueron diseñados y probados de diferentes maneras. Estos instrumentos podían rastrear directamente la distribución en la intensidad de luz de una placa fotográfica de un espectro determinado, o bien, podían delinear las isófotas o líneas de contorno en la distribución de la luminosidad de un objeto celeste difuso, ya sean las protuberancias solares o bien las diferentes nebulosas y galaxias. Estos últimos instrumentos incrementaron el valor de la fotografía en la observación astronómica, permitiendo analizar la vastísima cantidad de información que las placas fotográficas, tanto de espectros como de fotografías, proporcionaban al astrónomo.

Otra de las herramientas necesarias del astrónomo, a la hora de determinar las posiciones astrométricas de diferentes objetos celestes, eran los primeros servo-mecanismos como máquinas automáticas de medición provistas por la I.B.M. Estos aparatos podían determinar la ascensión recta y la declinación de cualquier objeto sobre una placa fotográfica con una gran precisión y velocidad, además de grabar los resultados en una larga serie de tarjetas perforadas. Estas primeras computadoras utilizadas como máquinas automáticas para el conteo de estrellas en una placa fotográfica también podían organizar el conteo en relación a determinados límites de magnitud estelar, previamente seleccionados por el operador. Posteriormente, nuevos problemas astronómicos, tales como el cómputo de las órbitas y la elaboración de nuevas tablas de los movimientos planetarios, fueron resueltos a una gran velocidad tanto en computadoras analógicas como en digitales. También estos aparatos podían ser capaces de realizar mejores predicciones de las futuras posiciones de los planetas en los siglos venideros, así como las cuatro publicaciones de efemérides astronómicas más importantes: *Nautical Almanac*, *The American Ephemeris*, *Connaissance des Temps* y *Berliner Fahrbuch*.

Otra de las aplicaciones de la electrónica estuvo relacionada con el desarrollo del *telescopio de electrones*, el cual contribuyó a un gran progreso en la observación astronómica. Este instrumento electrónico era un tubo intensificador de imagen, en el

cual la imagen óptica formada por un telescopio convencional era proyectada y amplificada sobre un fotocátodo semitransparente. Así, los fotones emitidos son acelerados y enfocados, a través de ciertos métodos provistos por una óptica electrónica, en una placa fotográfica. Dicho instrumento es semejante en su funcionamiento al microscopio electrónico. Las ventajas que mostraba este nuevo dispositivo, comparado con las fotografías directas tomadas con el mismo telescopio, radicaban principalmente en un menor tiempo de exposición y un considerable aumento en la intensidad lumínica. Por otro lado, este tipo de accesorios solucionó los problemas ocasionados por las grandes limitaciones de los detectores, tanto la sensibilidad de la emulsión fotográfica como el granulado (ioduros de plata) de las placas. La aplicación de dicho aparato permitió que los astrónomos puedan mejorar sus observaciones en ciertas ramas de la astrofísica estelar donde la carencia de luz era un problema cotidiano. La mayoría de estos dispositivos electrónicos desplazaron levemente el desarrollo en la sensibilidad de la emulsión fotográfica, debido a que tales accesorios podían amplificar e intensificar la imagen que proporcionaba el telescopio. Sin embargo, las placas fotográficas siguieron siendo los detectores por antonomasia, ya que su capacidad de registrar permanentemente y precisamente las posiciones y el brillo de un gran número de estrellas se mantuvo vigente hasta la segunda mitad del siglo XX con el advenimiento de los detectores electrónicos.

1.2 Los nuevos detectores y los telescopios actuales

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 (*Charge Coupled*

Device) se abrieron paso, desplazando gradualmente a las placas fotográficas. El empleo y las aplicaciones de los ccd's 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 apreciable 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's 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, como se mostrará en el último apartado del quinto capítulo. 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's 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 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 Hawai², el Gran Telescopio de

¹ Cabe mencionar que existen detectores electrónicos alternativos a los ccd's, 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 pixeles que conforman el detector (conversión analógico-digital). Así, a diferencia de los ccd's, 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's 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.

² A los fines de mostrar cómo se lleva a cabo una observación rigurosa, se darán detalles de los instrumentos y accesorios de los observatorios Gemini y de los procedimientos necesarios para efectuar la misma. Ambos constan de dos telescopios de 8.1 metros de diámetro y 130 metros de distancia focal (F 16) con espejos primarios de 75 bloques. Poseen un espectrógrafo óptico e infrarrojo (medio y lejano) con sistema de óptica adaptativa multi-conjugada (GEMS) para revertir los defectos atmosféricos, y también constan de un sistema de óptica activa para cubrir los defectos instrumentales. Los dos observatorios están ubicados a alturas diferentes, lo cual permite, en uno de ellos, una mayor observabilidad en el IR, debido a una presencia menor de vapor de agua en la atmósfera. El sistema de observación de ambos telescopios tiene una estructura (ISS) que sostiene no más de cinco instrumentos. La cámara óptica (GMOS) posee un espejo rotatorio que desvía la luz hacia diferentes instrumentos. También posee un sensor de frente de onda, el cual tiene un brazo mecánico que capta la estrella guía del campo visual. GMOS censa el frente de onda unas mil veces por segundo. ALTAIR es la óptica adaptativa conjugada de Gemini Norte y requiere de estrellas guías artificiales producidas por un rayo láser (10 Watts) de cinco estrellas a 90 km. de altura. A diferencia de éste, Gemini Sur posee un láser con una potencia de 50 Watts. El láser de sodio ioniza en las capas superiores de la atmósfera y reemite la luz al instrumento. Así, con los sistemas de óptica adaptativa, pueden usarse además para medir la luz de un planeta extrasolar, o bien, de galaxias tapadas por la luz de una estrella o cuásar, respectivamente. Además, este sistema opera en IR, es decir, GMOS + GEMS. En la página web de cada observatorio hay una tabla con los instrumentos disponibles. GMOS, posee también una cámara de imágenes espectroscópicas de ranura larga (multi-objeto y de campo integral). La misma tiene un sistema de filtros similar al sistema fotométrico del telescopio SLOAN, aunque más limitado en la selección de objetos para astronomía estelar, como cúmulos globulares de estrellas, por ejemplo. A su vez, GMOS posee tres ccd's, uno al lado del otro, que componen una imagen final. Las máscaras para espectroscopía multi-objeto son placas de fibro-carbono cortadas minuciosamente. Una vez elaboradas, se obtienen múltiples espectros de objetos particulares. Con GMOS + IFU, se obtiene espectroscopia de campo integral. En Gemini Norte, NIRI es la cámara infrarroja que opera con, o sin, óptica adaptativa. GNIRS, tanto en el Gemini Sur como en el Norte trabaja con ALTAIR y sirve para espectroscopía IR cercana. NIFS es la cámara de campo integral para el IR cercano, similar a GMOS en el óptico. A diferencia de las cámaras ópticas, las infrarrojas no pierden la carga de la señal, es decir, pueden reducir notablemente el ruido 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; R. Giacconi en York & Gingerich & Zhang, 2012). Todos estos telescopios se encuentran equipados con

la señal. NIFS también usa óptica adaptativa. NICI es una cámara IR con un coronógrafo instalada en el observatorio del sur, la cual permite la observación de exoplanetas y funciona con GEMS. FLAMINGOS 2 es una cámara de imagen y espectroscopía “long-slit” más espectroscopía multi-objeto, de gran versatilidad instalada en Gemini Sur y también opera con óptica adaptativa. GSAOI es otra cámara IR, posee cuatro ccd’s y reconstruye los huecos entre los mismos empleando una técnica de “dithering”. Utiliza estrellas guía naturales y la constelación artificial producida por el láser de sodio, la cual también opera con GEMS. El procedimiento para realizar observaciones en Gemini Norte y Sur constan de dos fases: La “fase I tool” (PIT) y la “fase II observing tool” (OT). La primera consta de un programa informático para el envío y recepción de propuestas de observación al consejo asesor del observatorio (NTAC) y al consejo asesor con astrónomos del consorcio (ITAC). Se necesita, a su vez, de un investigador responsable de tal propuesta (PI). Argentina utiliza diferentes tipos de propuestas que pueden ser empleadas por el PI. Una de ellas el modo “queue” o en cola, otra es el “classic mode” donde pueden intercambiarse los tiempos de observación con otros observatorios asociados a Gemini, tales como Subaru y Keck. Otros modos de observación son el “poor weather” y el “target opportunity” para la observación de supernovas, por ejemplo. Para solicitar los diversos instrumentos en IR, se requieren mayores tiempos de observación. El programa PIT considera aspectos tanto científicos como técnicos. Esto último conforma las condiciones de observación necesarias para obtener datos más precisos y confiables, tales como: calidad de imagen, transparencia del cielo, vapor de agua, brillo o “sky background”, etc. En todas estas condiciones hay que especificar la longitud de onda en el rango óptico y/o infrarrojo. Además, a dichas condiciones hay que sumarle las configuraciones instrumentales obtenidas con la “calculadora” (ITC) de cada aparato empleado en el sistema de observación, a fin de estimar el tiempo de respuesta de cada accesorio y pieza de equipo acoplado al soporte ISS. La ITC se descarga de la página web del observatorio. Por otra parte, los programas de observación (schedules) se hallan ubicados en tres órdenes de prioridades científicas, ponderando las condiciones estipuladas en la misma propuesta de observación. Al tenerse en cuenta tales prioridades, los procedimientos deben ser definidos estratégicamente para saber en qué canal o banda de observación ingresa la propuesta. Una vez completada, esta última enviada por el PI responsable. Luego, una vez asignado el tiempo de observación, comienza la segunda fase. Es necesario cargar la propuesta de observación, mediante el software OT, en la base de datos de Gemini, la cual será revisada por la oficina de Gemini Argentina (OGA). Una vez que el programa fue puesto en estatus “ready”, debe pasar al estatus “active” (si el objeto a observar está disponible), o bien, “on hold” (si la configuración instrumental no está disponible aún). Una vez otorgada la fase II (el tiempo de observación) el investigador responsable no puede modificar ningún parámetro de la fase I (salvo disminuir el tiempo asignado o las condiciones del cielo que fueron estipuladas antes). Finalmente, el PI recibe por correo electrónico la confirmación del tiempo de observación con un número de identificación (ID) y una clave que le permite acceder al sistema y a la base de datos de Gemini.

cámaras ccd's 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.

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 para poder 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 (M. Shao en York & Gingerich & Zhang, 2012).

I.3 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 de la 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 radiación 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 radiación al observar. De esta forma, la observación y la detección de cada radiación requieren de un instrumento con un diseño específico.

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*) se halla orbitando la Tierra. Este instrumento consta de un telescopio tipo Ritchey-Chretien con detectores de última generación, los cuales están diseñados para soportar las extremas bajas temperaturas del espacio. El *Spitzer* está 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 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*, los cuales se mencionarán con más detalle en el primer apartado del quinto capítulo. 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 Universo.³ 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 obstáculo (como se verá en la sección sobre modelos de datos del último capítulo) 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 encuentra ubicado en un valle formado por montañas en el observatorio de Arecibo, Puerto Rico. Este instrumento posee 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 grandes antenas parabólicas poseen una resolución de hasta un minuto de arco. Con el fin de aumentar

³ 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.

el poder resolutivo 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 Chajñator 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 radiación se componen de una combinación de espejos parabólicos e hiperbólicos, los cuales reflejan y enfocan estos rayos produciendo una imagen. Estos telescopios, también llamados de “incidencia rasante”, son 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 instrumento 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 quásares 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 (R. Giacconi en York & Gingerich & Zhang, 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, quásares 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 *Hubble* (*HST*), 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.

I.4 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 aquéllos fenómenos astrofísicos que son observados en base a otras interacciones fundamentales, como los rayos cósmicos, los neutrinos (los cuales se desarrollarán en detalle en la sección seis del cuarto capítulo) y las exóticas ondas gravitacionales. La investigación de los rayos cósmicos de altas energías⁴ forma parte de la llamada física de astro-partículas, la cual va más allá de la

⁴ 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

astronomía electromagnética. Sin embargo, existe una notable contribución entre estos ámbitos diferentes de la astrofísica actual, abriendo las puertas a una astronomía de mensajeros múltiples. 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, aparentemente 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 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

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.

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.

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 este capítulo se ha tratado de hacer una breve descripción histórica que va desde los primeros telescopios terrestres de gran porte, mostrando a su vez el desarrollo de las placas fotográficas a los primeros detectores electrónicos, hasta los proyectos de ciencia grande que implicaron la puesta en órbita de telescopios espaciales. Se ha tratado de mostrar 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. Por otra parte, se ha destacado el lenguaje procedimental necesario para el uso de estos nuevos instrumentos, a partir de los cuales dependen las prácticas observacionales de la actualidad. 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 de la imagen cotidiana, como así también la imagen científica del universo observable.

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.

Capítulo II. Auxiliares informáticos de la observación astronómica

II.1 Programación “oscura” y programación “tradicional”: una tensión actual en las prácticas computacionales

Algunos autores sostienen, desde las prácticas computacionales, que el diseño de programas basados tanto en algoritmos genéticos como en redes neuronales artificiales requieren de métodos no tradicionales de programación (Janlert, 2008). Ello se debe fundamentalmente a la complejidad involucrada al tratar de verificar formalmente los mismos de manera deductiva, o bien, paso a paso. Desde esta perspectiva, las nuevas técnicas desarrolladas para entrenar estas redes involucran una programación “oscura”, en la cual un programa no puede ser justificado bajo el mismo criterio de racionalidad tradicional.

La hipótesis de este apartado gira en torno a los “paradigmas” racional, tecnocrático y científico caracterizados dentro de la ciencia de la computación y a sus respectivos niveles metodológico, epistemológico y ontológico (Eden, 2007). El objetivo aquí consiste en mostrar que esta práctica alternativa, en términos de proceso y producto, parece ubicarse en la categoría del paradigma tecnocrático. Sin embargo, al analizar en cada nivel de discusión planteado los alcances y límites de tales paradigmas, se concluirá que la programación oscura resulta ser adecuada en el contexto de lo que, filosóficamente, se asume como un paradigma científico.

II.2 Los tres paradigmas de la ciencia de la computación

Eden (2007) ha considerado la discusión inherente a las diferentes problemáticas metodológicas, epistemológicas y filosóficas que subyacen en la actualidad en la ciencia computacional. Al explorar si esta última es una rama de la matemática, de la ingeniería o si es efectivamente una ciencia natural, este autor considera que las diversas posiciones existentes dependen de distintos conjuntos de creencias dadas en esta disciplina. Así caracteriza tres “paradigmas” que presentan dichas posiciones en tres niveles de discusión: metodológico, epistemológico y ontológico.

Brevemente, el primero considerado es el paradigma racionalista, el cual define que la ciencia de la computación es una rama de la matemática. De esta manera, los teóricos de la computación consideran que los programas son objetos matemáticos y buscan cierto conocimiento *a priori* respecto de su corrección a partir de métodos de razonamiento deductivo. El segundo paradigma mencionado es el tecnocrático, el cual adopta la mayoría de los ingenieros de programas y definen a la computación como una rama de esta disciplina. Ellos consideran a los programas como datos cuya fiabilidad empírica va a depender de un conocimiento *a posteriori* obtenido a través de bancos de prueba. Por último, el tercer paradigma es el científico. Aquí, la ciencia computacional es tomada como una ciencia empírica estrechamente vinculada a la inteligencia artificial donde los programas son objetos análogos a los procesos mentales. Este paradigma afirma que tanto un conocimiento *a priori*, como así también uno *a posteriori* de los programas, es logrado a partir de la combinación de métodos de deducción formal y de experimentación convencional. Cada una de estas caracterizaciones involucra aspectos metodológicos, epistemológicos y ontológicos, algunos de los cuales serán tratados en esta sección.

En esta dirección, Eden sostiene que en la mayoría de los textos y artículos clásicos dedicados a la enseñanza y a la investigación de programas de computadora se presentan métodos radicalmente diferentes. Así, tanto los métodos matemáticos complejos, como los métodos utilizados en la ingeniería de programas y aquéllos que combinan teorías matemáticas con experimentos científicos, conforman una pluralidad metodológica que puede manifestarse de muchas maneras. Estas últimas representan diferentes rostros de la ciencia computacional, es decir, como una rama de la matemática, o una de la ingeniería, o bien como una ciencia natural. Este autor afirma que los diversos métodos empleados, en cada paradigma, van a depender de la posición ontológica y epistemológica de cada uno de ellos.

En este sentido, Eden hace una salvedad terminológica y distingue dos usos diferentes del término programa. Por un lado, el *program-script* consiste en una secuencia simbólica de expresiones asociadas a un lenguaje de programación dado. Este último contiene reglas sintácticas y semánticas que permiten formar de manera adecuada tales expresiones. Además, estos lenguajes poseen distintos niveles de

capacidad expresiva, es decir, a grandes rasgos existen lenguajes de máquina y lenguajes de programación con un alto orden de abstracción. En el lenguaje de programación de máquina, las expresiones del programa se corresponden con diferentes configuraciones de cargas eléctricas codificadas en un sistema binario. En un lenguaje de alto nivel, el programa debe ser interpretado por *compiladores* y un *sistema operativo* para lograr su ejecución. Por otro lado, otro uso del término programa hace referencia al *program-process*. En este sentido, correr el texto de un programa en particular, en un entorno operacional apropiado, puede generar un gran número de procesos de programa, los cuales son identificados como entidades causales y temporales y no como meros símbolos inertes.

De esta manera, Eden sostiene que las *especificaciones* de un programa consisten en sentencias que afirman aquellas expectativas que deben ser alcanzadas por el programa en un proceso determinado. Así, si estas especificaciones son dadas antes que el texto del programa sea codificado en un lenguaje, las mismas están presentes en la etapa del proceso. Ello permite que la *corrección* del programa pueda lograrse a partir de especificaciones formalmente expresadas en un lenguaje matemático. Sin embargo, las especificaciones no sólo pueden validar la ejecución de un *program-script* particular, sino que además muestran la eficacia de los *program-process* generados. En consecuencia, resulta inviable que tanto las especificaciones formales como las informales puedan ser formuladas completamente. Así, el problema de la corrección de los programas genera una problemática epistemológica que gira en torno a la *validez* de los mismos. Esta última involucra un conocimiento *a priori* dado por los métodos racionalistas, como así también otro *a posteriori* dado por la evidencia empírica tomada bajo consideración. La validez interna de los programas permite la corrección de los mismos a partir de una verificación deductiva de las especificaciones formales. A diferencia de la primera, la validez externa se corresponde a una noción de corrección o verificación probabilista de tales especificaciones empleando métodos estadísticos.

Al analizar los métodos sugeridos por el paradigma racionalista, algunos autores sostienen que las computadoras son máquinas matemáticas cuyo comportamiento puede ser comprendido con certeza y precisión matemática. Desde esta perspectiva,

los programas son expresiones matemáticas que describen el comportamiento de las computadoras en las cuales son ejecutados. Así, la programación es una práctica que emplea los diversos métodos matemáticos tradicionales. La computación teórica consiste en realizar ciertas pruebas matemáticas basadas en nociones de cómputo “mecánico”. En este sentido, uno de los aspectos más interesantes está sugerido por la conocida tesis “Church-Turing”, la cual afirma que todo proceso mecánicamente computable puede ser representado como un proceso de cómputo mediante una “máquina de Turing”, es decir, a través de un algoritmo.

En esta dirección, aquellos programas codificados en lenguajes de máquina son equivalentes con algunas nociones matemáticas de computación mecánica. En consecuencia, esta equivalencia considera que cualquier problema que pueda ser resuelto por una máquina de Turing puede ser resuelto mediante un texto de programa codificado en un lenguaje de este tipo. De esta manera, la práctica matemática involucrada, a la hora de escribir programas, sólo considera una metodología de razonamiento deductivo. Esta última se justifica a partir de las consideraciones ontológicas y epistemológicas de este paradigma.

Según Eden, cada proceso de programa puede ser representado, por extensión, por un algoritmo, función recursiva o cualquier otro equivalente matemático que se vincule con la noción de cómputo mecánico. Así, autores como Hoare (1986, 2006) y Dijkstra (1988), sostienen que los *program-script* son expresiones matemáticas que representan entidades de este tipo. Estas pueden ser consideradas como formas platónicas universales, entre otras entidades metafísicas.

Con respecto a los aspectos epistemológicos, el paradigma racional sostiene que es fundamental tener un conocimiento *a priori* de los programas y disponer de un método matemático de razonamiento deductivo. A fin de elaborar una semántica formal para lenguajes de programación, Hoare formuló una teoría axiomática, utilizando la lógica-matemática clásica, en la que cada estado de un determinado proceso computacional está representado por otro que es capturado por conjuntos de estos axiomas. Este autor afirma que este tipo de conocimiento que se tiene de los programas proviene de la razón exclusivamente, es decir, de axiomas autoevidentes y de demostraciones de teoremas a partir de métodos formales de deducción. Por otra

parte, rechaza cualquier argumento pragmático en contra de esta perspectiva epistemológica. Él sostiene que un conocimiento que surja de la experiencia debe ser absolutamente desestimado. Así, aunque la evidencia empírica puede sugerir ciertas intuiciones sobre la naturaleza de objetos matemáticos, como números y figuras geométricas, la misma es considerada un conocimiento *a posteriori*, anecdótico y poco confiable.

Respecto al paradigma tecnocrático, la tendencia general es considerar a la ciencia computacional como una rama de la ingeniería, en particular con aquellas áreas vinculadas al diseño, arquitectura, evolución y testeado de programas. A diferencia del paradigma anterior, el conocimiento que se obtiene de los programas surge de la experiencia y un conocimiento dado exclusivamente a partir de métodos deductivos resulta ser imposible e impráctico.

Según Wegner (1976), uno de los argumentos a favor de esta perspectiva hace referencia a la complejidad que emerge en la elaboración y desarrollo de grandes programas. Dicha complejidad está lejos de la creación de lenguajes de programación más potentes y está estrechamente relacionada con la producción y aplicación de diversos métodos para controlar tales programas. En este sentido, no hay lugar para una ciencia teórica de la computación, ni tampoco tienen mucha incidencia aquellos principios de la experimentación científica tradicional, ya que raramente son utilizados. La práctica computacional consiste en emplear bancos de prueba o *testing suites* con el fin de establecer estadísticamente cierta confiabilidad en aquellos programas durante su proceso de fabricación. Así, los ingenieros de software definen un proceso regimentado para el diseño de programas, seguido de su “implementación” en una computadora. En esta última fase, el texto del programa es codificado y luego es ejecutado, generando varios procesos a partir de los cuales se testea el mismo con métodos estadísticos.

Desde el plano epistemológico, el paradigma tecnocrático sostiene que el razonamiento deductivo resulta inadecuado al tratar la complejidad presentada en las especificaciones de ciertos compiladores y sistemas operativos. De esta manera, la estipulación de afirmaciones de entrada en estos algoritmos no es formalizable. El concepto de entrada en dichos programas hace referencia además a la complejidad

involucrada en la adquisición de señales y datos que llegan a éstos mediante la interacción con otros programas, también complejos. Cualquier razonamiento deductivo resulta inviable a la hora de representar tales programas en las diferentes fases del proceso de ejecución. En este sentido, tanto el *program-script* como sus especificaciones formales no se hallan “bien definidos” y, en consecuencia, es imposible probar deductivamente la *corrección* de un programa. Esta última debe ser asociada a una noción de *testeo*, es decir, probar la fiabilidad de un programa en términos probabilísticos.

Eden afirma que el empirismo clásico en filosofía se aproxima a la posición metodológica y epistemológica del paradigma tecnocrático. Así, la experiencia ocupa un rol fundamental en los métodos de ingeniería utilizados en los *testing-suites* y es considerada la única fuente de conocimiento confiable. También este autor sitúa la postura ontológica de este paradigma aseverando que los mismos textos de programas son entidades intangibles que escapan de la experiencia y por lo tanto son considerados entidades abstractas (no físicas), las cuales deben ser rechazadas. Desde este punto de vista, la existencia de un programa resulta innecesaria. Eden concluye que esta perspectiva puede ser vinculada con la doctrina del nominalismo en metafísica. Sin embargo, es imposible que esta última haya motivado la posición filosófica de este paradigma que no intenta tener compromiso ontológico alguno.

El último paradigma considerado por Eden es el científico, el cual señala que la ciencia de la computación es una ciencia empírica como cualquier otra. Esta disciplina se ha desarrollado en diferentes áreas de la inteligencia artificial, tales como en la robótica, en la vida artificial y en la programación de redes neuronales artificiales, entre otros. Dicho paradigma sostiene que el conocimiento *a priori*, dado a partir del razonamiento deductivo, debe ser reemplazado por un conocimiento *a posteriori*, dado por la evidencia empírica, a fin de llevar a cabo experimentos científicos. En esta dirección, los procesos de programas son tomados bajo consideración como procesos mentales.

Es posible argumentar, bajo algún criterio, que los experimentos son significativos sólo cuando consideran objetos del mundo físico y carecen del mismo al tomar objetos artificiales o artefactos como programas y computadoras. A diferencia de

esta perspectiva, Newell y Simon (1976) sostienen que los programas, aunque sean artefactos, son apropiados para realizar y conducir experimentos de manera rigurosa. De esta forma, si tales artefactos son entidades que conforman parte de la “realidad” física, entonces, es posible emplear diferentes métodos científicos para obtener conocimiento de ellos. Así, un experimento puede ser diseñado para corroborar o refutar hipótesis particulares, y si fracasa, la teoría en la cual se apoya dicha hipótesis debe ser revisada o desechada. Las prácticas experimentales con ciertos programas como simulaciones computacionales permiten explorar la veracidad de diferentes modelos de fenómenos. Según Eden, los métodos de este paradigma no se limitan a la validación empírica de programas y modelos computacionales; de hecho, si se considera a la ciencia computacional como una ciencia natural, la misma debe incluir además los métodos deductivos.

Uno de los argumentos epistemológicos más interesantes sostenidos por el paradigma científico es el argumento de auto-modificación. Este último afirma que en los procesos de programa se puede modificar el conjunto de instrucciones dadas en el texto del mismo durante el proceso computacional. Así, el comportamiento de estos programas auto-modificados no puede ser predicho de manera analítica. Por otro lado, otro de los argumentos importantes afirma que el comportamiento de ciertos programas no es “lineal”, perteneciendo a cierto ámbito de fenómenos determinados. En particular, ciertas simulaciones computacionales, altamente sensibles a las condiciones iniciales, arrojan soluciones que no pueden ser tratadas mediante métodos analíticos. Eden sostiene que, si un texto de programa no está codificado de manera tal que considere funciones no lineales, el proceso del mismo mostrará un comportamiento no lineal. De esta manera, aunque pueda disponerse de un conocimiento *a priori* de los programas, la perspectiva epistemológica del paradigma científico afirma que es necesario un conocimiento *a posteriori* de los mismos.

En esta dirección, la perspectiva ontológica de este paradigma define a los procesos de programa como entidades temporales, no físicas, causales, metabólicas, contingentes y no lineales. A diferencia de la posición ontológica racionalista, los procesos de programas no son comprendidos como entidades matemáticas debido a que no se corresponden con estas propiedades. En este sentido, un programa,

entendido como una entidad matemática, no puede consumir energía (metabolizar) ni tampoco puede producir de manera inmediata efectos causales en el mundo físico. Así, los *program-processes* producen concretamente efectos tangibles en la naturaleza. Además, otros autores sostienen que dichos procesos de programas están a la par de los procesos mentales. De esta manera, determinados procesos cognitivos responden a dichas propiedades, como la contingencia o el soporte físico en el cual se sitúan los mismos. En consecuencia, diferentes teorías computacionales de la mente sugieren que el cerebro humano puede ser considerado una computadora programable, en la cual ciertas funciones cognitivas son tomadas como procesos de programas. Esta analogía entre procesos de diferente naturaleza recibe un apoyo considerable desde las teorías computacionales del ADN. La ontología de este paradigma argumenta aún que las secuencias del ADN se correlacionan con los textos de programas y su ejecución es análoga a los procesos mentales.

II.3 “Dark programming” y la racionalidad de los programas

Janlert (2008) sostiene que durante un proceso de programación tradicional los métodos requeridos deben permitirle al programador llevar a cabo cálculos de operaciones específicas, con papel y lápiz, como así también construir programas que realicen las mismas tareas sin la participación del mismo. Así, la programación procede normalmente desde un método “subjetivo” a uno “objetivo”. Ello significa que las mismas tareas llevadas a cabo por los agentes humanos pueden ser realizadas por aquellos programas que se ejecutan en una máquina. La naturaleza subjetiva de estos métodos subyace en el hecho de que los programadores conocen en detalle el funcionamiento de los mismos, sabiendo no sólo que funcionan, sino también cómo operan. Desde esta perspectiva, los procesos de programación involucran métodos subjetivos que conducen a métodos objetivos dados en la realización de un programa en una computadora digital.

El trabajo de los programadores no siempre consiste en generar nuevos métodos apropiados, sino en buscar e identificar programas ya existentes que sean capaces de resolver tareas particulares en un proceso dado. De hecho, según Janlert, en la práctica

computacional se da una estructura social que les brinda a los programadores cierta confianza y respaldo para emplear métodos existentes sin un conocimiento detallado de los mismos. En este sentido, la programación tradicional descansa en el empleo y utilización de métodos subjetivos.

Por otra parte, existen nuevas técnicas computacionales para producir programas que no involucran métodos subjetivos. En consecuencia, estos nuevos programas no pueden ser justificados racionalmente, lo cual implica que la estructura de los mismos no es transparente y no puede compararse con la de aquéllos tradicionales. Además, los resultados que arrojan estos programas oscuros no se limitan a la racionalización y por ende no pueden ser fácilmente interpretados con métodos subjetivos. De esta manera, una red neuronal artificial, por ejemplo, puede ser entrenada para que realice tareas específicas y puede reajustar el “peso” de sus interconexiones a partir de un algoritmo de aprendizaje dado. Janlert sostiene que, aunque estas redes estén entrenadas y realicen las mismas tareas que los programas tradicionales, las mismas no son caracterizadas como programas. En esta dirección, técnicas similares que reemplazan el empleo de métodos subjetivos son utilizadas en diferentes máquinas de aprendizaje en la inteligencia artificial. Al asumir que un programa de este tipo lleva a cabo de manera confiable ciertas tareas encomendadas, los resultados obtenidos pueden coincidir con aquéllos esperados. Aunque el funcionamiento de estos programas no puede ser efectivamente comprendido, es decir, simulando de manera mecánica (paso a paso) con papel y lápiz, los mismos son eficaces en la resolución a determinados problemas.

No obstante, este autor afirma que los programas oscuros no son exactamente “cajas negras”. Los resultados que ellos arrojan son al menos inicialmente oscuros, en tanto que no existe un conocimiento *a priori* de los mismos. De todos modos, estos métodos alternativos resultan válidos en esta práctica computacional. La falta de comprensión en el *dark programming* se debe fundamentalmente a que estos programas son entidades que resuelven problemas y no son expresiones de ciertos lenguajes de programación. El único requisito para entender una red neuronal artificial consiste en encontrar un programa, en algún lenguaje particular, en el cual la misma red sea interpretada como una implementación de éste. Así, aquellos lenguajes de

programación utilizados en el desarrollo de algoritmos evolutivos, por ejemplo, presentan ciertos niveles que los hacen incomprensibles para el agente humano.

En esta dirección, Janlert analiza si la programación oscura califica como programación y si los productos de esta práctica pueden ser considerados programas. Él propone tres criterios, basados en la relación programa y proceso, necesarios para este análisis. Sin entrar en mayores detalles, y a los fines de este apartado, el criterio causativo afirma que el programa causa el proceso, el criterio descriptivo sostiene que el programa describe el proceso y el criterio de justificación define que el programa posee una explicación racional de acuerdo con los objetivos del proceso. A propósito de este último, según la tradición racionalista, el objetivo de la verificación formal consiste en probar matemáticamente los programas. Sin embargo, este autor sostiene que el objetivo de la verificación consiste en probar el “correcto” funcionamiento de los programas. En este sentido, la prueba de que un programa trabaja correctamente tiene que ver con aspectos inherentes al diseño de los mismos, más que con propiedades y atributos racionales.

Puesto que la programación oscura no depende de una práctica que emplea métodos subjetivos racionales, tampoco se halla sujeta a las limitaciones de los programadores humanos. A diferencia de la programación tradicional, la cual satisface el criterio de justificación, esta programación alternativa no provee ningún tipo de justificación. En este sentido, los programas oscuros pueden no ser considerados necesariamente programas. Si bien este tipo de programación no cumple con el criterio de justificación racional en el momento de producir un programa, la misma posiblemente pueda darse luego de su elaboración. Sin embargo, la oscuridad de un programa representa el grado de incertidumbre epistémica que se tiene respecto a los mismos. Una justificación *a posteriori* del programa implica explorar su diseño, es decir, comprender las causas y los resultados obtenidos de acuerdo con los objetivos planteados. Según Janlert, esta perspectiva conduce a una ingeniería inversa, la cual permite conocer los principios tecnológicos de un artefacto a través del estudio de su arquitectura y operatividad. Con ello, no sólo es posible hacer predicciones sobre el comportamiento de estos programas oscuros, sino que además se puede comprender estadísticamente las decisiones y racionalidad de su diseño.

Janlert además sostiene que resulta difícil establecer una línea de demarcación clara entre la programación tradicional y la oscura. Ello se debe a distintos matices existentes entre ambos tipos diferentes de programas. En consecuencia, hay tanto programas tradicionales “grises” como no tradicionales. De todas maneras, la programación tradicional justifica el desarrollo de los programas considerando métodos subjetivos. A diferencia de esta última, la programación oscura no se limita a un criterio racionalista tradicional porque *valida* externamente los programas a partir de sus resultados, o sea, de la experiencia. Sin embargo, Janlert concluye que es necesario, desde la práctica computacional, apelar a la racionalidad dada en la intención del diseño de estos programas. Esta intencionalidad provoca, en los resultados arrojados, ciertos indicios y patrones que son de hecho reconocidos por el programador a la hora de justificar su óptimo funcionamiento y operatividad. Por ello, se concluye que el paradigma científico es el más adecuado al tratar de rescatar una noción de racionalidad no clásica comprometida con prácticas experimentales tradicionales.

II.4 El “ojo del experto” y los programas expertos en las prácticas observacionales astronómicas

Esta sección intenta abordar los distintos roles que tienen el “ojo del experto” y ciertos programas de computadora en diferentes prácticas observacionales de la astronomía actual. Ambos pueden “reconocer” patrones visuales sobre imágenes astronómicas obtenidas con telescopios de última generación. Estos programas son sistemas expertos (SE) considerados actualmente como algunos de los nuevos auxiliares que dispone el astrónomo. El impacto que poseen éstos en tales prácticas hace que sean tomados como accesorios indispensables de la observación en esta disciplina.

En esta dirección, este apartado se sitúa dentro del marco en el cual la visualización y la observación ocupan lugares centrales en estas prácticas astronómicas. Es común encontrar en la mayoría de las publicaciones de revistas especializadas en esta disciplina que las simulaciones computacionales son también auxiliares importantes en un proceso observacional. No obstante, aquí se dejará de lado el rol que ocupan las simulaciones astronómicas, las cuales se analizarán en

detalle en el capítulo siguiente, y se tomará bajo consideración el papel que juega cierto tipo de SE en contraste con el “ojo del experto” de un observador en dicha práctica. En particular, se analizarán aquellos programas que involucran procesos de “aprendizaje”. Tampoco se tratarán aspectos inherentes a la programación de tales sistemas, sólo se hará una breve descripción de las operaciones y funcionalidad de los mismos en estas prácticas de la astronomía.

A partir de la tensión dada actualmente en las prácticas observacionales entre visualización humana y visualización computacional mediante sistemas expertos, existen diferentes tendencias que aproximan y alejan al astrónomo en el mismo proceso de observación. Por un lado, hay una marcada tendencia que desvincula la función activa de un observador en lo inherente a la capacidad de visualización del objeto astronómico. Esto se debe fundamentalmente a los adelantos tecnológicos en el instrumental, aparatos, piezas de equipo y demás auxiliares computacionales que median la práctica entre el sujeto epistémico y el objeto de su estudio. Por otro lado, se da una tendencia más tradicional que trata de rescatar la actuación del “ojo del experto” al momento de identificar, reconocer patrones y clasificar objetos visualmente. Esta tendencia aproxima al observador al mismo proceso y, como se ilustrará luego, destaca su importancia en áreas como en la astronomía morfológica.

Tomando bajo consideración la hipótesis mencionada anteriormente, la idea central aquí consiste en mostrar que, además de darse esta tensión en un nivel práctico y metodológico, se dan cambios conceptuales relevantes desde la perspectiva que se intenta abordar. Específicamente, existe una transformación del contexto, de sus elementos y de la generación y del reconocimiento de patrones que van de lo visual a lo observacional. Este corrimiento del “ojo del experto” al “observador experto” permite repensar la noción de inferencia observacional, la cual involucra no sólo conocimientos teóricos sino también conocimientos prácticos dados por la experiencia adquirida en los observatorios y laboratorios astronómicos.

II.5 El “ojo del experto” y el “observador experto”: visualización y observación

Arnheim (1971) sostiene que las operaciones cognitivas que conforman el pensamiento no se encuentran en una posición privilegiada y por encima de la percepción. Por el contrario, los procesos mentales tales como la exploración activa, la captación de lo esencial o fundamental, la resolución de problemas, el análisis y la determinación de un contexto son factores necesarios e indispensables de la percepción sensorial. Desde esta perspectiva, la visión en general puede organizar y precisar las formas, los colores y los movimientos de los cuerpos físicos en el espacio tridimensional y en el tiempo. En particular, él afirma que la percepción de las formas sirve para generar patrones visuales de éstos. Al percibir estas formas se pueden captar visualmente los diferentes rasgos morfológicos y estructurales del objeto contemplado. Así, una percepción visual *refinada* o *entrenada* es capaz de reconocer estos patrones sobre otros objetos visualizados. De esta manera, para un observador *experimentado*, el reconocimiento de patrones puede aplicarse a objetos con formas cada vez más complejas.

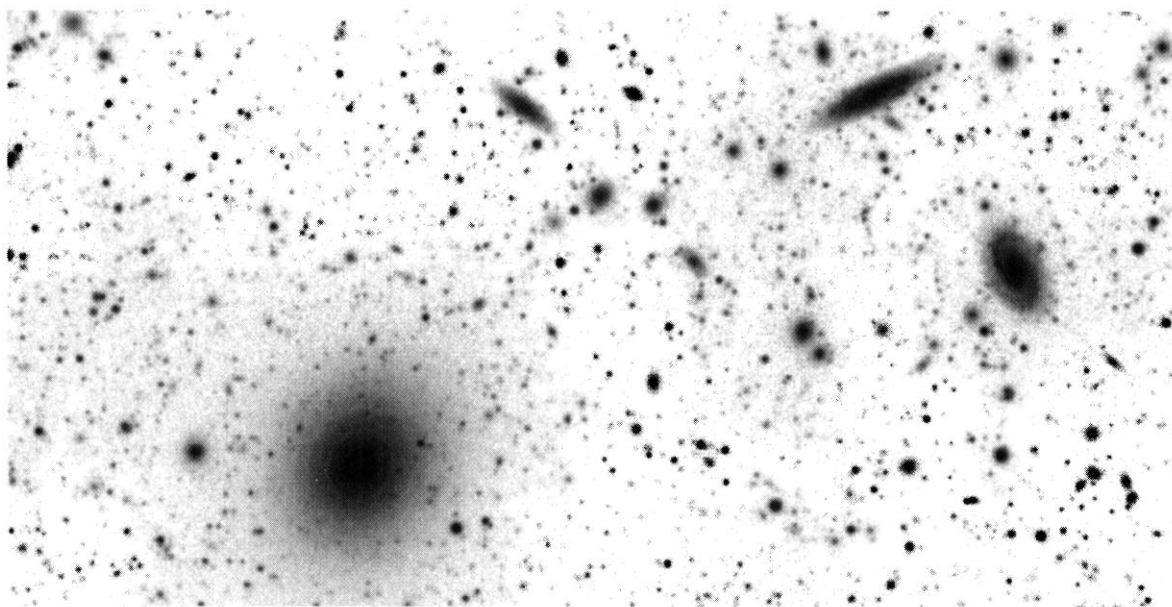
En este sentido, Hanson (1977a) sostiene que la visión es una experiencia. Algunos ojos reconocen patrones que otros no; este cambio se debe a la manera en que se organiza la visión, la cual depende de los elementos inmersos dentro de un contexto visual dado. Estos elementos se presentan en el campo visual y son organizados por el observador de una manera particular. Esta organización no requiere necesariamente de un conocimiento específico del objeto visualizado, sino más bien se relaciona con un conocimiento práctico y fundamentalmente con la experiencia del “ojo del experto”, el cual puede ser, para el caso de la astronomía, tanto un amateur como un astrónomo profesional.

Según Hanson, la observación, a diferencia de la visualización, requiere de una interpretación que se relaciona con aquellos procesos intelectuales en los cuales intervienen las teorías. Como se desarrollará en detalle, en un apartado del capítulo cuatro, aquí sólo cabe destacar que Hanson distingue el “ver” del “ver como”. Esta diferencia radica entre lo que un lego en la materia o un aficionado (incluso los ojos de un experto) y un astrónomo pueden observar rigurosamente. Aunque estos observadores vean un mismo objeto y puedan reconocer diferentes patrones visuales

sobre el mismo, pueden además observar cosas distintas. Inclusive, los ojos del lego como así también los ojos del experto aficionado pueden ser eventualmente *ciegos*, es decir, estrictamente no pueden observar. Igualmente es importante resaltar otro término presentado por este autor, el “ver que”. Aquí, la inferencia es considerada como el instrumento lógico capaz de relacionar un hecho observacional con el conocimiento previo y con el lenguaje que utilizado para expresarlo.

En concreto un “observador experto”, además de hacer inferencias observacionales a partir de un conocimiento específico del objeto, se basa al igual que el “ojo del experto” en un conocimiento experiencial. Esta base epistémica inherente a la práctica le permite además estipular y configurar patrones, no sólo visuales, sino observacionales para su reconocimiento mediante auxiliares automáticos como SE. Algunos de estos sistemas son conjuntos de programas de computadora especialmente diseñados para reconocer patrones visuales sobre imágenes digitales obtenidas con dispositivos y cámaras electrónicas acopladas a grandes telescopios. Como se mostrará luego, estos sistemas pueden llegar a resultados similares y aún mejores con respecto a aquéllos obtenidos por los ojos de los expertos.

Prácticamente, estos programas pueden distinguir estrellas de objetos extendidos en la imagen astronómica. En este sentido, los mismos aceleran los tiempos necesarios para la reducción y el tratamiento de los datos observacionales. Esto último permite que, a través de estos medios automáticos, se procese una enorme cantidad de información. Dichos sistemas pueden ser perfeccionados y pueden aprender de instancias o resultados logrados previamente. Así, el astrónomo “entrena” estos programas en situaciones dadas arbitrariamente, tales como en imágenes simuladas. Además, esta experiencia adquirida lo vincula con diferentes ámbitos interdisciplinarios y prácticas, los cuales no son tratados aquí, que van desde la ingeniería a la ciencia de la computación. No obstante, esta actividad, además de servir como interface entre diferentes comunidades epistémicas, posee cierta autonomía y subyace en las prácticas observacionales contemporáneas. Así, la intervención del “observador experto” es crucial en el entrenamiento, empleo e integración de programas expertos en tales prácticas astronómicas.



[FIG. II.1] SIMULACIÓN DE UNA IMAGEN OBTENIDA POR UN CCD, EMPLEADA EN EL ENTRENAMIENTO DEL SE PARA LA CLASIFICACIÓN DE ESTRELLAS Y GALAXIAS.

II.6 Los sistemas expertos: aspectos históricos y su aplicación en la astronomía

Según Nakatsu (2010), históricamente, en la inteligencia artificial (IA) existía una gran esperanza en el desarrollo de programas de computadora capaces de resolver problemas de manera general. Algunos de ellos tenían nombres pretenciosos, tales como el *General Problem Solver* (GPS) desarrollado por Newell, Shaw y Simon (1959). Estos programas tenían la capacidad de resolver una variedad de problemas específicos. Dichos programas consistían en un conjunto de reglas que se procesaban de manera tal que podían dar soluciones a crucigramas, demostrar ciertos teoremas lógicos y resolver movidas del ajedrez. El GPS y otros programas “generales” sólo podían resolver problemas de este tipo. No obstante, en ciertas ramas de la IA, se fueron desarrollando e incorporando otros nuevos que podían dar soluciones concretas en distintos ámbitos del conocimiento humano, así como en la traducción entre diferentes lenguajes naturales y el reconocimiento de voz y de patrones visuales. Sin embargo, el éxito de dichos programas no se dio sino hasta que se restringió el dominio específico del problema. Así, en el transcurso de la década de 1960 a la década de

1970, se desarrollaron nuevos sistemas que dejaron de lado los métodos generales de razonamiento y se concentraron en el conocimiento específico de una disciplina. De esta manera, nacieron los primeros sistemas expertos basados en reglas cuya forma lógica era la del condicional “si, entonces”. Estos SE podían resolver problemas más complejos en áreas determinadas de las ciencias, como en los diagnósticos médicos (*MYNCIN*), en el diseño de computadoras (*XCON*) y en el análisis de datos geológicos para la búsqueda de minerales (*PROSPECTOR*). Sin embargo, los mismos eran muy limitados debido a la manera en que codificaban, en forma de reglas condicionales, la información disponible.

En un sentido amplio, un SE puede caracterizarse como un programa que intenta llegar a las mismas conclusiones que obtiene un experto humano, cuando éste toma determinadas decisiones pertinentes a su ámbito de investigación particular. Estos sistemas funcionan en dominios específicos haciendo uso tanto del conocimiento experto disponible en una disciplina dada, como de aquel obtenido por el mismo programa. Por lo tanto, estos sistemas pueden resolver problemas basándose en instancias previas, de la misma forma que un experto humano podría hacerlo. Posterior a la década de los ochenta, más allá del dominio de la IA, los SE basados en experiencias anteriores tuvieron múltiples aplicaciones en diferentes organizaciones comerciales y en aquellas decisiones vinculadas a operaciones financieras y de negocios. Entrados los años noventa, estos programas fueron paulatinamente empleados en determinadas prácticas científicas. En suma, tanto los SE basados en reglas como aquéllos basados en casos aproximan soluciones según la organización del conocimiento que disponen.

Además, existen otros tipos de SE. Estos dependen de la naturaleza del problema a resolver. Hay sistemas basados en ciertos modelos probabilísticos, tales como “redes bayesianas” y “cadenas de Markov”, que atienden a problemas que incluyen procesos estocásticos. La estrategia en la resolución de problemas de este tipo implica un razonamiento probabilístico.

En esta dirección, la programación de los SE requiere de diferentes motores de inferencia, tales como algoritmos, que se basan en cierto tipo de información y conocimiento descriptivo de hechos y situaciones observacionales. Esta base

epistémica es estática e incluye toda la información pertinente del experto humano. Ésta es codificada de manera tal que los datos son enunciados que poseen una estructura “lógica” consistente con la del programa. Además, dichos motores de inferencia combinan esta última información con otra proveniente de una base dinámica de conocimiento. Esta última involucra los resultados, obtenidos anteriormente por estos algoritmos, que se almacenan en la memoria del sistema. De esta manera, a través de reglas inferenciales puede extraerse información nueva que, eventualmente, le permite al experto humano resolver un problema dado. Dichos algoritmos son reglas específicas que forman parte del programa. Estos sistemas operan bajo la aplicación sucesiva de reglas heurísticas que producen resultados. Estos pueden ser contrastados generando una nueva instancia en la dirección a la solución del problema. Así, es posible aplicar nuevas heurísticas a esta nueva instancia.

Estos algoritmos permiten la búsqueda de soluciones efectivas relativas a los tiempos de ejecución del programa. Aunque tales algoritmos sean eficaces en esta búsqueda, la eficiencia de los mismos depende de su diseño; este a su vez depende del objetivo planteado en el problema. A propósito de ello, existen diversas arquitecturas de algoritmos inspiradas en diferentes procesos biológicos, ya sean sistemas nerviosos o bien sistemas genético-moleculares. En este trabajo, se toman bajo consideración sólo aquellos programas basados en redes neuronales artificiales (RNA). La aplicación de tales redes en SE suele, en las prácticas observacionales, resolver determinados problemas de reconocimiento de patrones visuales y de clasificación en el dominio de la astronomía morfológica.

La mayoría de los primeros escritos referentes a las múltiples aplicaciones que ha tenido la IA, en los diversos ámbitos del conocimiento, hace alusión al progreso de las diferentes tecnologías del hardware de computadora. Sin embargo, el énfasis en el desarrollo de nuevas técnicas de software se debe, consecuentemente, a los avances tecnológicos en el soporte físico de nuevos equipos. De acuerdo con ciertos autores, aunque las computadoras impactaron tarde en la astronomía, las mismas son consideradas en la actualidad instrumentos tan importantes como lo es el telescopio.

Hoy, en áreas específicas de esta disciplina, su aplicación no difiere demasiado de las actividades que los astrónomos llevaban a cabo en la década de 1960. No

obstante, para ciertas prácticas observacionales resulta necesario incorporar nuevas técnicas de software para el empleo de programas expertos, como son las RNA. Así, estos SE pueden llevar a cabo diferentes tareas complejas en la resolución de problemas astronómicos difícilmente resueltos por el agente humano. Ya en la década de 1990 era conocida la importante aplicación de dichos programas en diferentes disciplinas científicas, así como en la interpretación de imágenes para el diagnóstico médico. En esa época, el uso de estos sistemas estaba desvinculado de los objetivos de la IA y más volcado a las necesidades de las prácticas en los variados tratamientos del dato observacional.

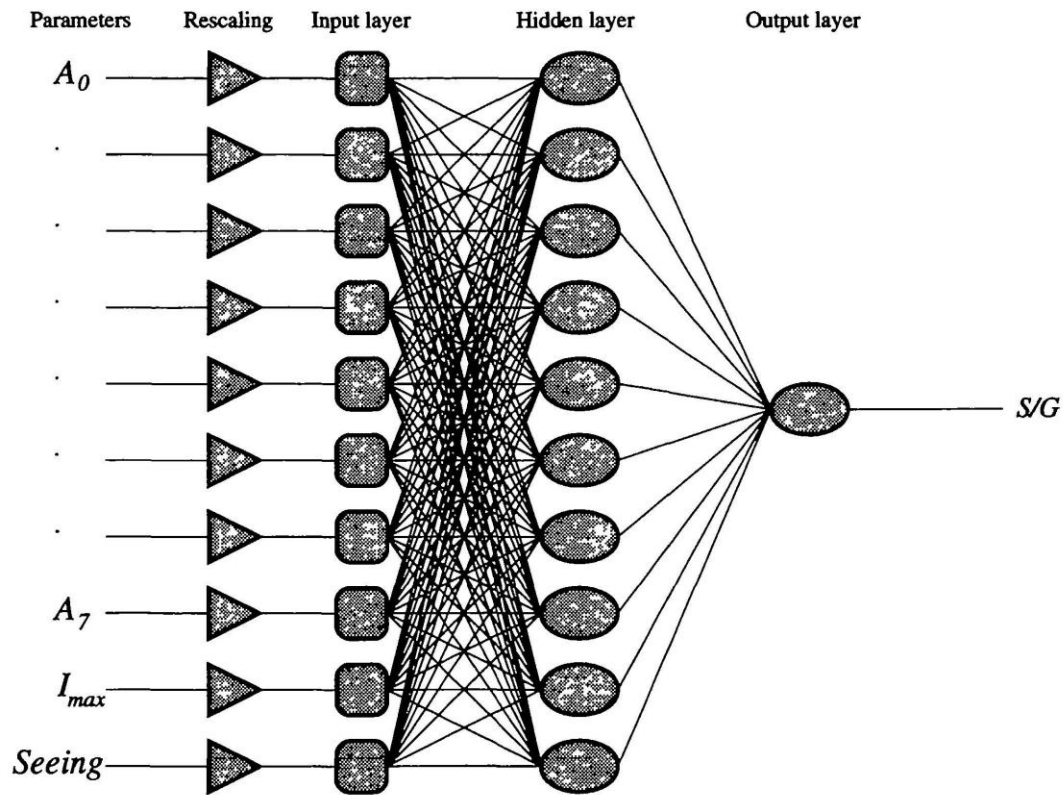
Como se ha mencionado, los SE pueden ser empleados para resolver diversos problemas astronómicos. Así, buscar soluciones en un proceso observacional puede ser una actividad compleja para un astrónomo en las diferentes fases del procesamiento de la información. Esto va desde la adquisición del dato instrumental o “crudo”, al procesamiento y reducción del mismo. Aunque existen prácticas observacionales que no son tan complejas, las mismas involucran procedimientos sistemáticos o “mecánicos” en el tratamiento del dato observacional. Estas conllevan al observador a una ardua y minuciosa tarea visual, la cual eventualmente provoca en el “ojo del experto” una fatiga fisiológica. Los SE son entonces auxiliares alternativos que ofrecen posibles salidas a estas limitaciones humanas, además de acelerar considerablemente los tiempos en el procesamiento de la información obtenida.

En suma, la aplicación de estos programas en un contexto de descubrimiento le permite a un astrónomo extraer e inferir nuevos conocimientos a través de la adquisición y de la reducción de datos. Además, en ambas fases del proceso observacional, esta aplicación le permite construir modelos de fenómenos y modelos de datos, refinarlos y calibrarlos. Por otra parte, no se puede afirmar que los SE empleados en estas prácticas observacionales astronómicas realicen hallazgos novedosos por sí mismos. Son programas que sólo pueden “aprender” de instancias o resultados previos a partir de parámetros preestablecidos por un “observador experto”. En este sentido, dichos programas son máquinas de aprendizaje supervisado que no pueden generar criterios taxonómicos ni esquemas clasificatorios nuevos.

II.7 SE basados en RNA: entrenamiento y limitaciones

Para algunos autores, un modelo de red neuronal, una vez implementado en una computadora, puede ser usado repetidamente en las diversas instancias que presenta un problema en particular (Bazell y Bankman, 1993). Básicamente, estas redes operan transformando parámetros de entrada (estímulos) en señales de salida de forma similar a cómo operan las redes neuronales en los sistemas biológicos. La implementación de esta tecnología de software en las prácticas observacionales tiene un gran valor epistémico, ya que permite la resolución de problemas astronómicos en donde la información disponible es escasa, conflictiva o ambigua.

El programa experto posee una arquitectura dada por una RNA con unidades básicas de procesamiento llamados nodos, los cuales pueden hallarse distribuidos en diferentes capas. Además, estos nodos poseen determinadas entradas y salidas que los interconectan. Las salidas son señales dadas por medio de tres funciones, tales como la de propagación (hacia adelante o hacia atrás), la de activación y la de transferencia. Sin entrar en mayores detalles técnicos, la red además posee reglas que le permiten ser entrenada y tener la capacidad de “aprender”. Esta última capacidad destaca una gran diferencia entre esta clase de programas y otros.



[FIG. II.2] DIAGRAMA DE UNA RED NEURONAL ARTIFICIAL UTILIZADA PARA IDENTIFICAR ESTRELLAS Y OBJETOS EXTENDIDOS EN UNA IMAGEN ASTRONÓMICA.

Cuando la red aprende una tarea, los valores que conectan los nodos de la misma cambian en respuesta a otros datos. A través de determinados ejemplos presentados a la red artificial, ella mejora la forma de llevar a cabo la tarea indicada. De esta manera, las muestras empleadas para entrenar la red son consideradas como el conjunto de datos de entrenamiento, el cual permite que la misma aprenda a partir de casos preestablecidos. Luego de finalizar la fase de aprendizaje, la RNA fija la densidad de la estructura o el “peso” de las interconexiones (sinapsis) correspondientes entre los diferentes nodos o neuronas artificiales de la red. Aunque los procesos de aprendizaje de una red pueden o no ser supervisados por el experto humano, a los propósitos de este trabajo, sólo se tomará bajo consideración el “aprendizaje supervisado”.

En este tipo de aprendizaje, el “observador experto” controla el entrenamiento de la red a partir de los resultados que la misma arroja de acuerdo a una entrada de

información predeterminada. Así, este supervisor coteja la salida de la red y comprueba que, si los resultados no coinciden con los esperados, entonces debe modificar y ponderar ciertas interconexiones de la estructura de la misma hasta obtener nuevos resultados que mejor se aproximen a los esperados. Este aprendizaje es también adaptativo, es decir, la red del sistema posee la capacidad de aprender a realizar tareas a partir de una experiencia inicial dada. Esto permite que una red supervisada, con excepción de la configuración inicial en los parámetros de entrada, pueda ser relativamente autónoma y tenga la capacidad de auto-ajustarse.

En esta dirección, las actividades involucradas tanto en el entrenamiento de las RNA, como así también en el testeo de los resultados o datos producidos, son fundamentales para comprobar el comportamiento de la red en términos de costo/beneficio. De esta manera, los SE constituidos por dichos algoritmos son programas capaces de aprender de experiencias o instancias previas. Además, poseen ciertas ventajas con respecto a la tolerancia a fallos, ya que las redes que lo conforman pueden aprender a reconocer patrones visuales sobre imágenes cargadas con diferentes ruidos (intrínsecos o extrínsecos). También, estos programas son tolerantes en cuanto a su degradación, es decir, el algoritmo neuronal puede estar dañado y sin embargo puede operar debido a que la información es distribuida en las diferentes interconexiones y es almacenada de manera redundante en la red neuronal artificial.

Por otra parte, comprender aquellos procesos involucrados en la visualización del “ojo del experto” puede sugerir diferentes configuraciones en la programación de los SE. La base epistémica de la cual disponen estos programas, les permite establecer clasificaciones morfológicas de objetos astronómicos similares a las que podrían llegar los ojos de los expertos. Ello se debe a que dicha base incluye el mismo conocimiento e información observacional disponible, la cual es seleccionada y codificada en parámetros visuales y observacionales por un “observador experto”. Esta base epistémica excluye aquéllos aspectos prácticos y experienciales de los ojos como de los observadores. Ésta es una de las limitaciones más fuertes y desafiantes en la programación de dichos sistemas.

Como se ha mencionado anteriormente, para el “ojo del experto” el aprendizaje y el reconocimiento de patrones visuales es una tarea que implica obtener una ardua

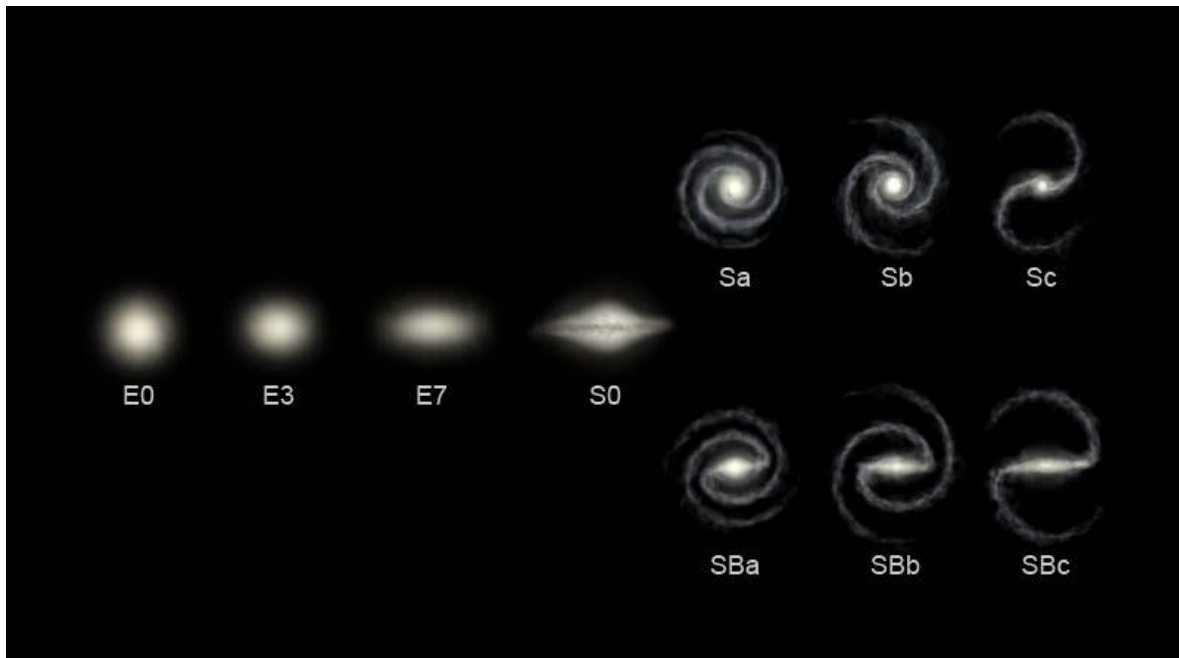
experiencia y entrenamiento en determinadas prácticas observacionales. En contraste, la visualización computacional en SE consiste en procesar y analizar imágenes digitales generadas por dispositivos electrónicos sensitivos como CCD's, por ejemplo. De esta manera, dichos programas pueden reconocer patrones visuales provenientes de determinados grupos o conjuntos de "píxeles" correspondientes a pequeñas áreas seleccionadas en la imagen. No obstante, algunos autores sostienen que la visualización del contexto y sus elementos y el reconocimiento de patrones es más eficiente en los agentes humanos que en los sistemas expertos basados en redes. En consecuencia, resulta difícil construir un medio automático comparable, ya que, entre otras limitaciones epistémicas, los SE están condicionados a imágenes bidimensionales y no son capaces, a diferencia del ser humano, de inferir la distancia o profundidad en un contexto tridimensional (Feigenbaum y Cohen, 1982).

II.8 Ejemplo: los SE y el proyecto *Galaxy Zoo*

En las últimas décadas se ha notado un cambio considerable que comenzó con una reticencia hacia el empleo de SE y una marcada tendencia al uso de bases de datos astronómicos, tales como el SIMBAD (*Set of Indications, Measurements, and Bibliography for Astronomical Data*), entre otros. Esto se debió principalmente a que la mayoría de los astrónomos observacionales consideraba que la actividad inherente al uso de SE correspondía más a prácticas computacionales que astronómicas. Sin embargo, el cambio finalmente se dio cuando tales programas expertos comenzaron a ser ampliamente utilizados como auxiliares de la observación y mostraron las ventajas de su implementación. En este sentido, diversos paquetes de software especializado fueron puestos a disposición de la comunidad astronómica para facilitarles el acceso a estas nuevas herramientas informáticas, tales como el MIDAS (*Munich Image Data Analysis System*) y el IRAF (*Image Reduction and Analysis Facility*), por ejemplo.

Una de las limitaciones más representativas que presentan estos sistemas expertos, como el programa SExtractor (*Source Extractor*), se da cuando éstos identifican patrones visuales necesarios para clasificar morfológicamente diferentes tipos de galaxias. Precisamente, estos programas realizan, a grandes rasgos,

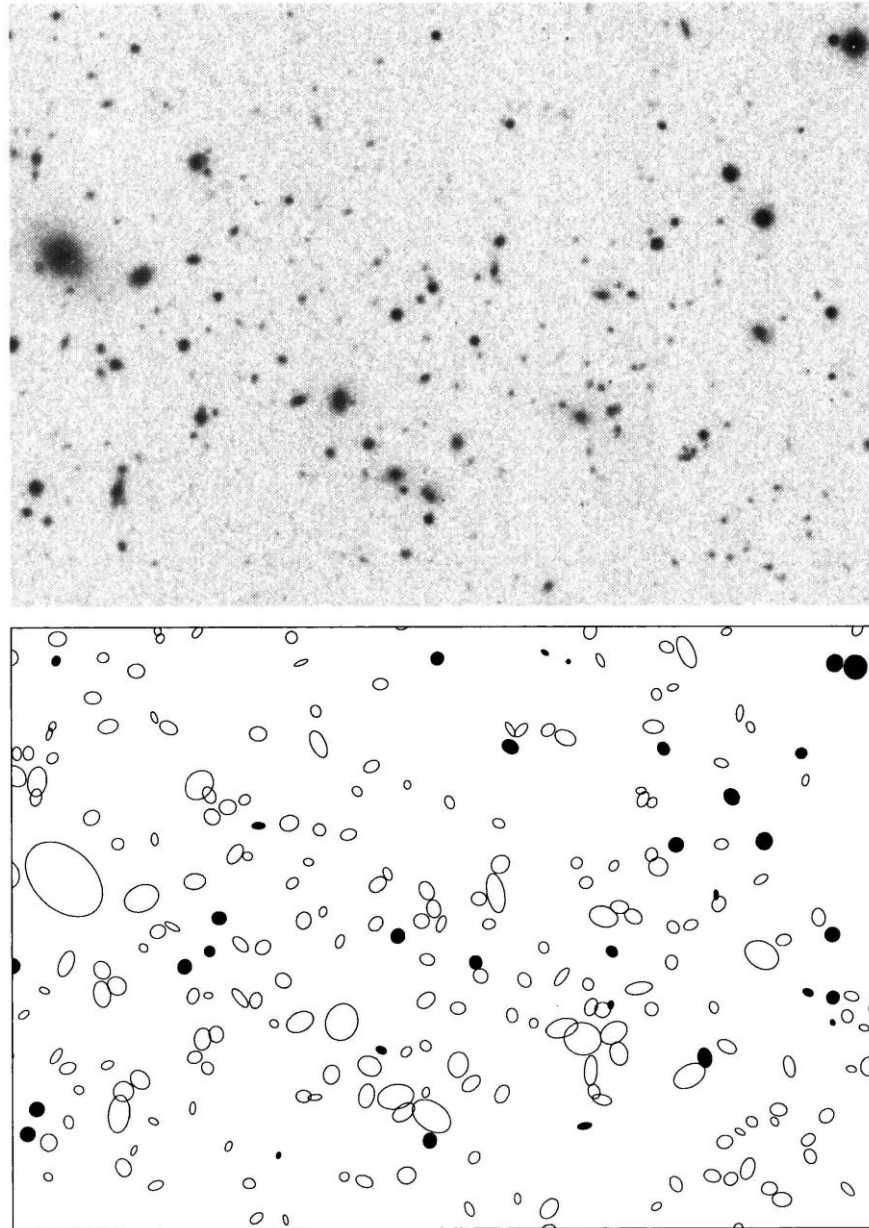
clasificaciones precarias y muy ruidosas, permitiéndole al “ojo del experto” concluir la taxonomía correspondiente en grupos y subgrupos de acuerdo a la secuencia o esquema de clasificación considerado. Históricamente, estos estudios morfológicos de galaxias han sugerido información muy relevante y valiosa, la cual les ha permitido a los astrónomos especializados construir diferentes modelos inherentes a la formación y evolución de estos objetos astronómicos.



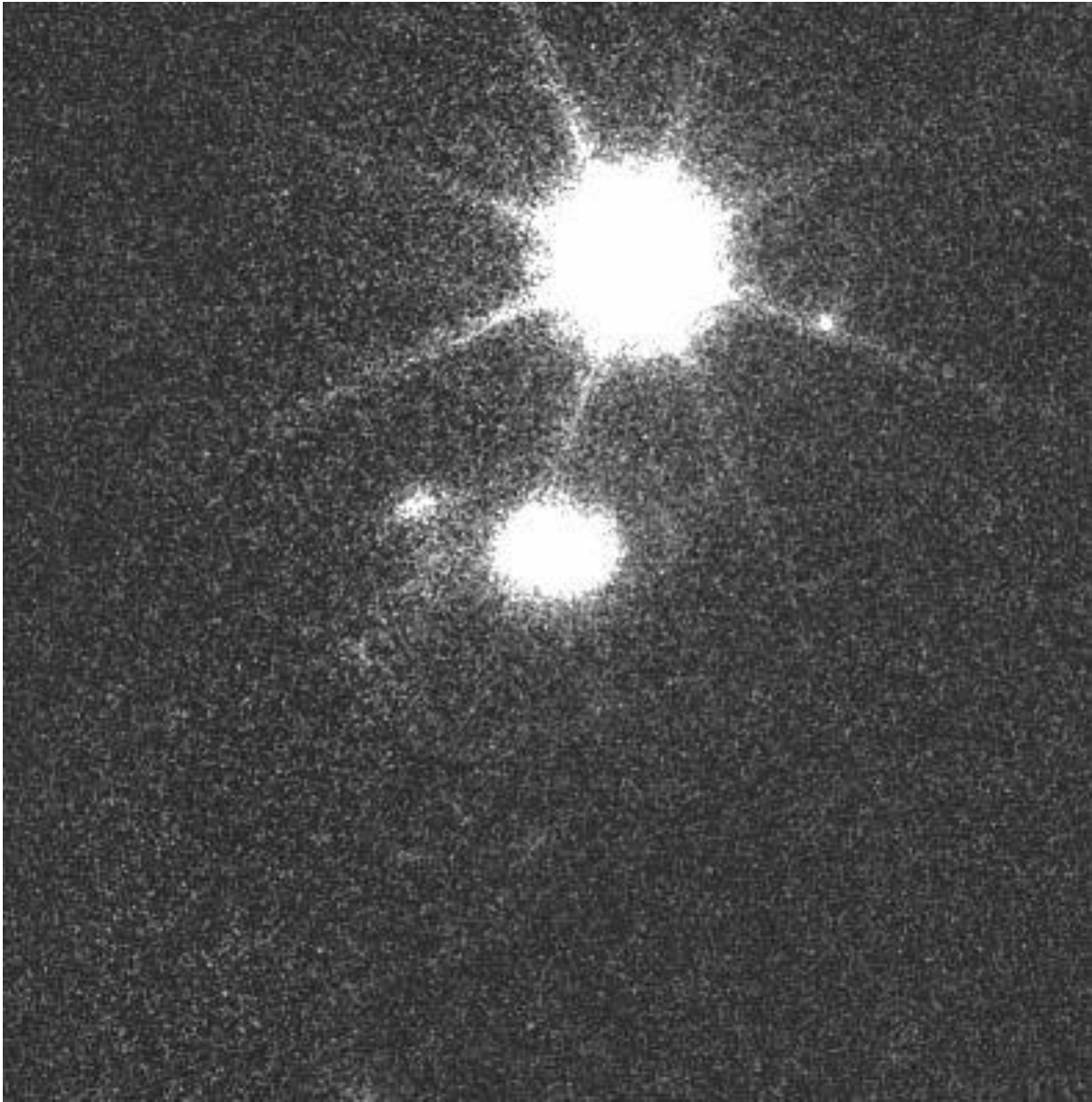
[FIG. II.3] TIPOS DE GALAXIAS DE ACUERDO AL ESQUEMA DE CLASIFICACIÓN PROPUESTO POR E. HUBBLE EN 1936.

En este sentido, podría pensarse que este dominio de tarea es específico del “ojo del experto” y los SE sólo son auxiliares prescindibles de esta práctica observacional. Sin embargo, en la actualidad existen numerosos catálogos de galaxias producidos con telescopios de última generación. Un ejemplo de ello es el SDSS (*Sloan Digital Sky Survey*) que produce imágenes digitales que incluyen cerca de un millón de objetos que deben ser clasificados (Fayyad et al, 1996). De esta manera, programas como el *SExtractor* (Bertin & Arnouts, 1996) poseen parámetros que le permiten identificar los objetos, presentes en la imagen obtenida, en fuentes “puntuales” y no puntuales. El problema resulta cuando el SE confunde, en imágenes ruidosas, estrellas con galaxias espirales difusas. Así, pese a que estos programas puedan “reconocer” visualmente y

en pocos segundos más de cuatro mil objetos en una imagen, algunos astrónomos sostienen que esta automatización tiene su precio. Este último se paga con catálogos de galaxias ruidosos que pueden, eventualmente, sugerir interpretaciones cosmológicas erróneas al observar estructuras ficticias del universo a gran escala (Bamford et al., 2009).



[FIG. II.4] INTERPRETACIÓN DEL PROGRAMA *SEXTRACTOR* DE UN CÚMULO DE GALAXIAS DISTANTE: LOS PUNTOS NEGROS EN LA IMAGEN REPRESENTAN OBJETOS ESTELARES Y LAS ELIPSES, GALAXIAS.



[FIG. II.5] IMAGEN DE UNA ESTRELLA DE CAMPO (ARRIBA) Y DE UNA GALAXIA ESPIRAL DIFUSA (ABAJO) DIFÍCIL DE CLASIFICAR PARA EL SE.

En este contexto, muchos astrónomos sostienen que el “ojo del experto” provee mejores resultados, que las técnicas computacionales, al aplicar métodos visuales de clasificación morfológica. No obstante, para tener seguridad en cualquier medio automático de clasificación debe necesariamente compararse con una vasta muestra de objetos clasificados visualmente. Atendiendo a esta necesidad surgió el proyecto

Galaxy Zoo, el cual emplea métodos morfológicos visuales sobre la misma base de datos del SDSS. Este proyecto muestra claramente la tensión dada, en las prácticas actuales, entre dos tratamientos diferentes del dato observacional.

Un aspecto interesante que poseen estos programas es que pueden establecer generalizaciones de ejemplos o muestras ya conocidas. Ello significa que estas últimas le permiten al SE procesar una muestra más grande, la cual es también clasificada. De esta manera, a partir de una guía instructiva en internet, el proyecto *Galaxy Zoo* consiste en establecer clasificaciones morfológicas de cerca de un millón de objetos astronómicos, llevadas a cabo por los ojos del público aficionado en general. Estas clasificaciones han sido favorablemente comparadas con aquellas obtenidas por los ojos de los expertos y especialistas en la materia. Esta muestra consiste en tres clases morfológicas: galaxias tempranas, espirales y fuentes “puntuales”. De esta manera, el SE es entrenado a partir de esta muestra pre-clasificada por el “ojo del experto”. Así, el éxito del programa depende del conjunto de parámetros seleccionados al entrenar la red del mismo (Banerji et al., 2010).

Aunque el conjunto de entrenamiento y la muestra inicial sea pobre, esto no impide que el programa pueda reconocer patrones visuales y observacionales. Ello se debe a que los parámetros de entrada asignados a la RNA además incorporan atributos observables de los objetos, como tipos espectrales y perfiles de luminosidad, derivados de la misma muestra utilizada al entrenarla. La selección de parámetros visuales (morfológicos) y observacionales (espectroscópicos y fotométricos), por parte del “observador experto”, es crucial a la hora de determinar la eficiencia del SE en clasificar dichos objetos astronómicos. Por consiguiente, esta selección y combinación de parámetros conforma un patrón observacional que el sistema debe “reconocer”. Estos tipos de patrones son asignados al programa con el fin de darle sustento a los resultados que éste obtiene. Así, el “observador experto” puede inferir qué selección de parámetros y qué configuración debe asignarles, en contraste con los resultados obtenidos por el programa, para lograr patrones observacionales que sean luego reconocidos por el mismo sistema.

De esta manera, el SE posee la capacidad de mejorar considerablemente las clasificaciones realizadas por los ojos de los expertos, incluso hasta mejorarlas en un

90%. Sin embargo, esto requiere de información observacional que debe acompañar al conjunto de entrenamiento. A diferencia de las técnicas tradicionales, al momento de reconocer patrones visuales sobre imágenes astronómicas, los programas expertos requieren de un conjunto de parámetros de entrada que codifique datos ya procesados. Cuando estos medios automáticos intentan reproducir y mejorar la muestra del *Galaxy Zoo*, los mismos requieren de una gran cantidad de información sofisticada que es brindada por los observadores expertos. Esto también constituye un claro ejemplo del rol insustituible de estos últimos y de sus capacidades tanto observacionales como experienciales en esta práctica astronómica.

En suma, este apartado ha tomado bajo consideración una tensión dada en la astronomía contemporánea entre dos prácticas observacionales diferentes inherentes a la habilidad de visualización humana y a la capacidad de ciertos programas computacionales. A partir de dicha tensión, se ha mostrado la importancia de ciertos SE aplicados en una de estas prácticas observacionales. Se ha visto que los mismos pueden reconocer patrones visuales sobre imágenes digitales de catálogos astronómicos. En la práctica, estos sistemas pueden llegar a resultados similares y aún mejores con respecto a aquellos obtenidos por los ojos de un experto humano. El diseño de estos programas se basa en RNA, las cuales tienen atributos que le permiten ser entrenadas en relación a un conjunto de datos y parámetros previamente estipulados por un supervisor durante el proceso de aprendizaje y de clasificación (Lahav, 1995).

Aunque estos medios automáticos pueden obtener información relevante procesando la misma a una velocidad superior a la humana, puede notarse que los mismos no siempre son efectivos al reconocer patrones sobre imágenes digitales. A fin de clasificar objetos morfológicamente, *eventualmente* la capacidad de cálculo y procesamiento de la información no supera la capacidad de visualización de un observador experimentado. Como se ha intentado mostrar el “ojo del experto”, aunque procese la información no tan rápidamente, reconoce patrones visuales que le permiten clasificar de manera adecuada. Históricamente, la destreza visual de un astrónomo ha sido de crucial importancia en el desarrollo de este tipo de prácticas astronómicas. Sin embargo, en la actualidad, hay una marcada tendencia que desvincula el rol activo que

poseen los ojos de los expertos en un proceso de observación. También se ha mostrado la contracara de esta tensión que aproxima a un observador al mismo proceso, rescatando aquellas técnicas tradicionales de visualización y reconocimiento de patrones de la astronomía morfológica.

De acuerdo a uno de los objetivos planteados en la introducción, se concluye que dicha tensión entre ojos y sistemas expertos, es decir, entre visualización humana y visualización computacional, representa otra más profunda entre visualización y observación. Precisamente, ésta es la que permite que los rasgos, características y habilidades que subyacen en el “ojo del experto” se corran a un “observador experto”. Este último, bajo criterios prácticos y observacionales, selecciona y configura parámetros, generando patrones observables que son reconocidos por el programa. Los observadores expertos pueden inferir las conclusiones obtenidas por el sistema, incluso cuando éste puede auto-ajustarse. Así, al repensar la noción de inferencia tomada de Hanson (Lund, 2010), se concluye además que la misma puede ser extendida al contexto de las prácticas observacionales actuales. De esta manera, lo que hace expertos a dichos observadores va a depender de la exquisita selección de parámetros iniciales (visuales y observacionales) y de bases de datos adecuadas para el entrenamiento del SE. Ello implica que, en el proceso, tales observadores puedan inferir los resultados alcanzados por el programa de acuerdo a los objetivos planteados en la observación. Una cuestión interesante consiste en analizar aquellos criterios que están por debajo de las selecciones antes mencionadas. Es sabido que existen tantos parámetros y bases de datos como atributos y propiedades observables tienen los objetos astrofísicos. En consecuencia, los diferentes criterios de selección podrían depender de las diversas tradiciones y comunidades epistémicas. Con ello, se podría explorar el estatus actual de los observadores expertos en las diferentes áreas del conocimiento humano. Otra de las cuestiones abiertas para ser estudiadas en detalle se dan al explorar los alcances y límites epistémicos que poseen los SE. Como se ha mostrado, estos programas pueden visualizar computacionalmente y reconocer tanto patrones visuales como observacionales. Por lo tanto, podría decirse que los mismos pueden inferir y de hecho observar. Esto último obliga a repensar el concepto de visualización computacional en la actualidad astronómica, lo cual se analizará en el

quinto capítulo. Asimismo, la visualización humana podría ser discutible, en otras instancias, desde diferentes teorías que van desde la psicología cognitiva y de la percepción hasta teorías computacionales de la visión (ver por ejemplo Marr, 1982).

Capítulo III. Simulaciones computacionales en la observación astronómica

III.1 El diseño de simulaciones digitales: una perspectiva desde las prácticas científicas

Durante los últimos cincuenta o sesenta años, la migración al uso de computadoras por parte de los científicos ha sido casi en la totalidad. Desde luego los usos y las aplicaciones son extremadamente variadas: desde procesadores de texto a analizadores de resultados, sólo por nombrar dos usos completamente opuestos. Pero ha sido sólo en estos últimos años cuando la filosofía ha comenzado a considerar más sistemáticamente el impacto que las computadoras pueden tener en la vida del laboratorio. Un plan de trabajo interesante para los filósofos consiste en evaluar el valor epistémico que se le adscribe a un programa de computadora en función de sus resultados. El problema inmediato con esta línea de trabajo consiste en suponer fuertemente que los resultados funcionan como evidencia para la validación del programa. Un caso particularmente interesante se presenta en el dominio de las simulaciones computacionales, especialmente en el área de física y disciplinas afines, donde algunos filósofos sostienen que la correspondencia entre los resultados de las simulaciones y los resultados de la experimentación son motivos suficientes para obtener garantías epistémicas sobre la simulación (Radder, 2003).

Este apartado consistirá en brindar otro enfoque a la propuesta basada en que los resultados son determinantes en la validación de una simulación, proponiendo un breve análisis filosófico acerca de la importancia epistémica que tienen algunos elementos técnicos en la validación del programa, así como en los resultados. Desafortunadamente los límites conceptuales de lo que es una simulación computacional aún son extremadamente borrosos, por ello se ha optado por restringir aquí a lo que en matemática aplicada se denominan simulaciones numéricas (SN). En este sentido, entendemos por SN la resolución de un modelo matemático mediante métodos numéricos implementados en una computadora. Así pues, una SN se convierte en una subcategoría de lo que usualmente se llaman simulaciones

computacionales, sólo que particularizada por el método de resolución de ecuaciones. El valor epistémico que se intenta buscar estará, pues, relacionado íntimamente con la creación y uso de modelos computacionales, entendidos estos como una estructura lógica capaz de ser implementada en una arquitectura computacional; más específicamente, un modelo computacional será el producto de la aplicación de transformaciones formales a modelos matemáticos, más algún conjunto de conjeturas informales más o menos bien fundadas.⁷

Dado este contexto, uno de los aspectos a tener en cuenta es la presencia inevitable de errores en los distintos niveles: en el modelo matemático, en la transformación y reducción de niveles de complejidad, en la especificación del modelo computacional, en el modelo computacional, en la implementación en una arquitectura específica, sólo por mencionar algunos. Así pues, el análisis del *error* resulta de gran interés filosófico para la validación de los resultados y, claro está, para la confianza epistémica depositada en la simulación. Aquí, por otra parte, sólo se analizará el error en uno de los niveles mencionados, a saber, en aquél del modelo computacional.

III.2 Diseño de una simulación numérica: errores y validación interna

La noción de validación ha sido ampliamente tratada dentro de la filosofía de la ciencia y, en particular en el contexto de las simulaciones computacionales. Por ello, y a los fines de este trabajo, nos limitaremos a una caracterización operativa basada en la distinción entre validación interna y validación externa. En el caso particular de las SN se dice que son *externamente válidas* cuando el modelo computacional representa, en un grado aceptable, el dominio estudiado. El interés que ha despertado en algunos filósofos la validez externa es extremadamente sugestivo, sobre todo en aquellas especulaciones que intentan disipar (o profundizar) el escepticismo que provocan las simulaciones computacionales como metodología científica para representar fenómenos del mundo (por ejemplo: Morrison y Morgan, 1999; Morrison, 2009, 2015).

⁷ Para un análisis de la estructura conceptual involucrada en la creación de modelos computacionales a partir de modelos matemáticos véase (Winsberg, 1999; Humphreys, 2004).

Por otra parte, una SN es *internamente válida* si las soluciones del modelo numérico se aproximan, en el grado de precisión deseado, a las soluciones relevantes de las ecuaciones del modelo matemático original (Winsberg, 2003). El proceso de validación interna introduce legitimidad en el sistema, consistencia entre sistemas y no tiene implicaciones directas sobre confiabilidad del modelo para representar fenómenos. En este sentido, la validez interna de una SN puede fallar cuando los resultados reflejan artificios, ya sea por el modo en que fue formulado el modelo numérico, ya sea por el diseño o la implementación de la solución del algoritmo, o por alguna interferencia externa (como un golpe de tensión, por ejemplo). Es interesante notar que los modelos numéricos pueden tener componentes matemáticos cerrados que pueden verificarse.⁸ Entendemos que una SN es *correcta* o está *verificada* si las soluciones⁹ del modelo numérico, esto es, el algoritmo que resolverá la especificación, se aproximan asintóticamente al grado de precisión deseado. Claro que por esto último no nos estamos refiriendo a un agente competente que *decide* si los resultados de la simulación se aproximan a lo que se quería simular, sino más bien a que es técnicamente posible calcular el grado de error de una simulación.¹⁰

Ahora bien, el mapa clásico de especificación e implementación de un algoritmo (Law & Kelton, 2000) supone la existencia de un fenómeno a modelar (se piensa principalmente en problemas de la física, pero posiblemente el análisis podría extrapolarse a la economía, la biología o cualquier otra disciplina empírica) y de una especificación más o menos formal¹¹ de ese fenómeno (puede tomarse, por ejemplo, a la dinámica de fluidos como un problema real y a las ecuaciones Navier-Stokes como la especificación formal en un conjunto de ecuaciones diferenciales parciales). Esas

⁸ La relación algoritmo-programa es muy estrecha: el programa P, cuando se corre en una máquina M, lleva a cabo el algoritmo A. Una prueba de que el P en M realizó A es parte del programa *verificacionista* al que se adscribe aquí.

⁹ Un aspecto importante de las SN es que, sin importar cuántas veces se ejecute la simulación, nunca se obtiene literalmente el mismo resultado. Pero dada la naturaleza probabilística de este tipo de simulaciones, es de esperar no contar con un marco determinístico sino, más bien, con una curva de error. Desde luego todas las soluciones aceptadas deben caer dentro de una curva de error mínimo aceptable.

¹⁰ Esto excluye el caso de la interpretación de los resultados, que es una tarea netamente humana.

¹¹ Este apartado se encuentra lleno de “sub-problemas” que son líneas de investigación posibles. En este caso, cuando se habla de especificación formal, se está pensando en un sistema de ecuaciones, posiblemente ecuaciones sin resolución analítica posible.

ecuaciones son traducidas a un algoritmo¹² a través de la programación en un lenguaje, y luego ejecutadas en una computadora física como un programa. Este mapa presta la ayuda necesaria para fijar la atención tanto en el nivel de detalle del algoritmo, del programa y de su integración, como en el ámbito de su implementación y de su respectiva ejecución. En particular, nos concentraremos en el papel que juegan ciertos errores propios de la simulación numérica en estos dos niveles. Fijado este marco conceptual, se intentará entrar en el análisis del error y su impacto epistemológico en los resultados de las SN.

Farge (2007), ha trabajado una clasificación de ciertos tipos de errores como epistémicamente relevantes. Su taxonomía alcanza varios puntos centrales en la caracterización del error en términos del riesgo que se corre de ser engañado por una representación falsa del fenómeno (lo que ella denomina *simulacrum*). Sin embargo, parecería que esta taxonomía se limita sólo al nivel de la especificación del algoritmo en el mapa previamente descrito, cuando resulta también relevante incorporar la dimensión de la implementación del algoritmo y su ejecución en una computadora física. Ya que resulta innecesario repetir los argumentos de Farge, se complementará su análisis con dos características propias de las SN que están directamente asociadas con un análisis del error: la compilación y la generación de números pseudo-aleatorios.

En su nivel más básico, una computadora sólo puede interpretar 0 y 1, de aquí que sea preciso algún mecanismo que medie como conector entre el algoritmo, entendido como un texto no-interpretado por la computadora, y la codificación de máquina, concebida como la implementación de dicho algoritmo en una computadora física.¹³ Así, si un algoritmo funciona como intermediario entre las ecuaciones matemáticas originales discretizadas y la implementación en una arquitectura computacional particular, un compilador es un tipo de programa especial responsable por la “traducción” de este algoritmo al dominio del programa. El papel que juega en la

¹² No se harán mayores distinciones sobre lo que es un algoritmo, sólo se intentará diferenciarlo de un programa. Así, podrá considerarse un algoritmo como una estructura lógica de funciones verificables mediante alguna semántica formal; y al programa como la implementación de ese algoritmo en un modo en que sea ejecutable en una máquina concreta, la cual puede ser física o abstracta (Fetzer, 1998). De esta manera, podrá tomarse al algoritmo como un procedimiento para computar una función y a un programa como una implementación del algoritmo. Un proceso de computadora es un algoritmo siendo ejecutado (Rapaport, 2005).

¹³ De ahora en más se referirá a la codificación de la máquina como programa.

vida de los programas es central y ha sido objeto de discusión de varios autores. En particular, Rapaport (2005) ha señalado que existe una “laguna semántica” (*semantic gap*) entre el algoritmo y el programa que sólo puede ser llenada por el compilador, según él:

“¿Qué es esta laguna? Presuntamente las operaciones específicas como tipos de datos abstractos, etc. del lenguaje de alto nivel no se corresponden directamente con nada en el lenguaje de máquina: Pascal, por ejemplo, tiene el tipo de dato 'record', pero mi SUN probablemente no lo tiene. Así, el compilador es necesario para mostrar cómo construir o implementar 'records' en un lenguaje de máquina.”¹⁴ (Rapaport, 2005)

En el contexto de este análisis, los errores de redondeo, de truncado¹⁵ y afines no sólo deben ser tratados en un nivel teórico, como bien apunta Farge, sino que también se les debe reconocer el correlato físico en la computadora, es decir, un error de este tipo debe ser tratado por el compilador para su implementación en la computadora física. Dado que un compilador es el encargado de “reconocer” la arquitectura física de la computadora, entonces también es el responsable del tratamiento de este tipo de error a un nivel más bajo. Desde luego que, si a nivel algorítmico no se contuvo el problema de redondeo, difícilmente se le podrá exigir al compilador que rectifique el error; sin embargo, el problema del redondeo no termina en la dificultad teórica mencionada por Farge, sino que se traslada también a la implementación concreta del algoritmo. Si un compilador no es capaz de dar cuenta de errores de redondeo, poco importa que los sepamos manejar a nivel teórico. En particular, dado el lugar que ocupa, parecería que la importancia epistémica de un compilador trasciende el mero hecho de tratarse de un intermediario (como lo podría ser el sistema operativo, por ejemplo) instalándose, en la discusión, al mismo nivel que

¹⁴ En rigor, Rapaport identifica cuatro relaciones que especifican una posible interpretación de esta “laguna semántica”, ninguna de ellas introduce diferencia al punto que se quiere señalar.

¹⁵ Por un lado, un error de redondeo ocurre a nivel de precisión del número computado respecto de su valor exacto. Si la precisión no es muy buena, por ejemplo, el cómputo puede divergir. Un error de truncado, por otro lado, está vinculado al orden de discretización de un número. Todo número computable tiene una “longitud” máxima medida en la unidad de “palabra”; si un número excede esa longitud será cortado en la *i*-ésima posición, tal que sea computable por esa arquitectura.

los problemas de valores iniciales, de cota y los ya mencionados errores de redondeo y truncado.

Un ejemplo ilustrará lo que se pretende señalar aquí. El experimento denominado *Lunar Laser Ranging* dejó una matriz retro-reflectora en la luna para que sea posible medir con cierto grado de exactitud la distancia de la tierra a la luna. Una vez que se obtuvieron los primeros resultados, dos grupos independientes analizaron los mismos datos. El comité de física gravitacional sabía que las 100.000 sentencias escritas en *Fortran* eran imposibles de verificar. Así que optaron por utilizar dos softwares desarrollados independientemente que permitiesen verificar el programa principal. Para sorpresa del comité, las cosas no salieron como las habían planeado:

Una doble verificación de los errores en los modelos de software, fueron provistos por un análisis de MIT-AFCRL de los datos sobre la distancia a la luna con software separados. Ambos análisis presentaron sus resultados satisfactoriamente. Sin embargo, en el momento en que MIT-AFCRL reportó sus resultados, nuestras soluciones erróneamente indicaban una amplitud de 1m para el término Nordtvedt¹⁶. El error fue buscado en el truncado de algún término relativista aparentemente insignificante en la ecuación de movimiento. Habíamos planeado sumar todos los términos relativistas de orden $1/c^2$ antes de publicar nuestros resultados, pero no esperábamos que esas sumas afectasen los términos Nordtvedt significativamente. (Williams, 1976, p. 553).

Esta anécdota ilustra el rol del truncado en un caso teórico donde el peso de la prueba recae sobre algún término que, en el momento, resultaba insignificante. La moraleja es que validar internamente una SN no sólo reduce la posibilidad de la existencia del error y del consiguiente espacio de soluciones, sino que reduce también la sistematicidad de un mismo error. Supóngase que los resultados fueran buenos, es decir, que el número de iteraciones no hubieran sido tal que introdujesen errores tan evidentes; quedaría pues la pregunta acerca de los fundamentos de la confianza

¹⁶ Utilizando el reflector lunar, instalado en 1969, pueden observarse efectos orbitales de una eventual diferencia en la aceleración de la Tierra y de la Luna en torno al Sol. Ello se debe a la diferente composición química de ambos, es decir, la Tierra es más rica en hierro que la Luna. El término mencionado está asociado a lo que se conoce como “efecto Nordtvedt” (debido a Kenneth L. Nordtvedt), el cual indica que la energía gravitatoria propia de un objeto contribuye a la masa gravitatoria del mismo, pero no a su masa inercial.

depositada en el modelo. Este problema es semejante al problema filosófico de la inducción: si validamos el modelo a partir de los resultados, sólo podemos garantizar que hasta esa *ejecución particular*¹⁷ el modelo se comporta como se espera.

Como segundo punto a incorporar a la discusión, se considera el papel que juega la generación de números pseudo-aleatorios en las SN. Como es sabido, no existen números puramente aleatorios en computación. Por un lado, si se conoce la “semilla” que inicia el motor de generación de números pseudo-aleatorios, entonces sería (teóricamente) posible conocer de antemano la secuencia total de números generados. Este hecho se demuestra fácilmente: el algoritmo es un proceso recursivo, computando una y otra vez el mismo cálculo, aunque con distintos valores de entrada. Si se conoce el primer número, y se conoce la función de cómputo, entonces se conoce toda la secuencia de salida de números pseudo-aleatorios.

La segunda razón por la cual usualmente no se considera que existan números puramente aleatorios es que dicha secuencia debe, por fuerza, repetirse después de generado cierto número de instancias. En efecto, así como los errores de truncado afectan a los resultados de las SN, también afectan el total de números pseudo-aleatorios generables. En este sentido, el límite de números pseudo-aleatorios posibles estará determinado por la memoria disponible.¹⁸ A pesar de esta particular característica de los números pseudo-aleatorios, éstos no introducen, propiamente dicho, error en los resultados, sino engaño. La diferencia es muy sutil y podría explicarse con el siguiente ejemplo: si se utilizan gran cantidad de variables pseudo-aleatorias para integrar una función, pero resulta que la distribución de esas variables es muy pobre, entonces se debería esperar que la integración sea igualmente pobre, aunque eso no implica que el proceso de integración es falso ni que, estrictamente hablando, el resultado también lo sea.

Desde luego, pueden existir otras fuentes de error, en especial si se tiene en cuenta que una computadora consiste en una serie de “capas” de software y hardware que hace difícil un control total. Sin embargo, entendemos que los problemas de

¹⁷ Es importante recordar que, en materia de computación, cambios de arquitectura, de distribución o inclusive de sistemas operativos o de compiladores pueden introducir todo un abanico de problemas.

¹⁸ Es interesante ver cómo el cambio de arquitectura y, por lo tanto, el cambio en el truncado de los números, también afecta la generación de números pseudo-aleatorios.

convergencia y estabilidad de los resultados de una SN están relacionados a estos pocos aspectos teóricos antes que a problemas espurios de hardware o de software.

¿Cómo afecta la presencia de errores en las SN? Esta pregunta tiene dos posibles respuestas, incidentalmente asociadas a la validez interna y a la externa. Cabe responder, en este apartado, qué sucede en el primer caso; en las secciones que siguen, de este capítulo, se abordará la validez externa y sus vínculos con las observaciones. Por consiguiente, se sugiere aquí que si el error no se mantiene dentro de niveles aceptables el poder epistémico de una SN se ve, cuanto menos, puesto en duda. Se dirá que si la validez interna falla, la representación del dominio no será buena, coexistiendo así los dos tipos de validez. Si bien no se ha pronunciado explícitamente sobre esto, sí se ha hecho uso de un ejemplo que parecería suponer cierto nivel de independencia entre una validez y otra.¹⁹ En cualquier caso, el avance sobre herramientas matemáticas más sofisticadas así como en mecanismos más o menos híbridos, como generadores de números aleatorios basados en medición cuántica²⁰, aunque insuficiente, parecería prestar apoyo a esta idea.

Este apartado ha sido situado en un contexto en el cual se concibe a un modelo matemático como adaptado e implementado en una computadora digital mediante la aplicación de métodos numéricos sofisticados. En primera instancia, dentro del amplio dominio de las simulaciones computacionales, se han tomado bajo consideración las numéricas, únicamente. Esto se debe a que se ha intentado acotar el estudio del rol de ciertos errores numéricos a un prototipo de simulación, sin intención de reducir la problemática a sólo este tipo. Con este fin, se ha tomado en cuenta la justificación de la validez interna de las simulaciones numéricas, mencionando sólo la importancia de la validez externa a modo de contraste. El resultado fue una apuesta a complementar la taxonomía estipulada por Farge, incorporando la dimensión de la implementación del algoritmo y su ejecución en una computadora física en el tratamiento del error en la validación interna de las SN. En particular enfatizamos dos fuentes de errores internos: el compilador y los números pseudo-aleatorios.

¹⁹ Se refiere aquí al ejemplo del *Lunar Laser Ranging*.

²⁰ Véase (Pironio et al., 2010).

En términos más generales, se considera que la evaluación epistémica de una SN debe tener presente, entre otros factores, las particularidades que hasta acá se han discutido, brevemente. Como puede apreciarse, a partir del análisis de los errores, la validez interna de una SN tiene como objetivo complementar el poder epistémico que se asume poseen los resultados de la simulación. Si se resta la posibilidad de validar internamente una SN, creemos que se estaría corriendo el riesgo de valorar (o sobrevalorar) epistémicamente los resultados y el modelo sin mayor fundamento que un correlato entre los resultados simulados y los obtenidos experimentalmente. No obstante, caben destacar los diferentes métodos y estrategias de validación externa, más precisamente en el ámbito de las simulaciones computacionales basadas en modelos de fenómenos astronómicos. En lo que sigue, se hará una aproximación a diferentes caracterizaciones de la noción de modelo, para luego abordar el rol de la medición en las prácticas actuales de simulación en astrofísica.

III.3 La autonomía de los modelos en astronomía

Este apartado se sitúa en torno a la reflexión epistemológica sobre la construcción y el uso de diversos modelos de datos, de teorías, de simulación y de representación en astronomía. El objetivo de este apartado consiste en tratar de mostrar que no existen reglas generales ni un método específico para el diseño y la construcción de modelos en esta disciplina. En este sentido, la modelización de ciertos fenómenos astronómicos requiere principalmente de una habilidad tácita la cual es adquirida mediante el aprendizaje y la experiencia en la misma práctica científica.

Se tomará como hipótesis de trabajo las diferentes caracterizaciones y los diversos análisis planteados por ciertos autores en lo inherente a la dinámica involucrada tanto en la construcción, como en el uso de los modelos y en las diferentes funciones que poseen los mismos en la práctica científica. Desde esta perspectiva, los modelos son caracterizados como *agentes autónomos* que funcionan de diferentes maneras en dicha práctica. Así, esta cierta autonomía permite además suponer una independencia parcial de los modelos con respecto a las teorías y a los datos. Por lo tanto, según este esquema, los modelos además poseen la capacidad de funcionar

como *instrumentos* de investigación y permiten la exploración tanto en el dominio de las teorías, como así también en la naturaleza. Con este propósito, se tomará en consideración un ejemplo astrofísico que compara las predicciones de un modelo de simulación con determinadas observaciones sobre las formas de grupos y cúmulos de galaxias. Este último modelo muestra la concordancia entre los resultados obtenidos por la vía teórica y la observacional. Para esto se diseñó y construyó un modelo computacional de tal manera que provee una simulación de la observación. Dicha concordancia entre ambos resultados es finalmente representada por un modelo de contraste, el cual media entre la teoría y el universo físico.

A principios del siglo XX diferentes doctrinas filosóficas, como el positivismo lógico, pusieron énfasis en buscar una estructura lógica capaz de clarificar la naturaleza misma de las teorías. Desde este punto de vista, la forma lógica de estas últimas era de suma importancia debido a que en este contexto los modelos podían ocupar una parte esencial en la estructura de las teorías científicas. En esta dirección, a partir de la segunda mitad del siglo pasado, una teoría científica debía ser caracterizada de manera axiomática, esto es desde la lógica de primer orden. Así, los axiomas eran entendidos como formulaciones de leyes que estipulaban relaciones entre diferentes términos teóricos. De esta manera, el lenguaje de una teoría poseía términos de este tipo y también términos observacionales, los cuales describían fenómenos y hechos de la naturaleza física. Por lo tanto, los enunciados de la teoría adquirirían significado en función de las consecuencias observacionales; de otra manera cualquier enunciado teórico que no se correspondía con alguna consecuencia de este tipo era considerado, en este sentido, como carente de significado. Lo que relacionaba el contraste entre enunciados de la teoría y términos observacionales era una serie de reglas (de correspondencia) específicas que validaban el procedimiento experimental de tal manera que la teoría podía ser aplicada a los fenómenos y sucesos observados.

Esta perspectiva sintáctica, también llamada *la concepción heredada de las teorías*, permitió que la estructura de las mismas pueda ser explicada en términos de formas lógicas independientemente del significado proporcionado adicionalmente por un conjunto de reglas de correspondencia. Se pensaba que, sin estas reglas o definiciones, la teoría no poseía ninguna interpretación. Según Morrison y Morgan

(1999), una dificultad obvia con este método es que se puede especificar más de un procedimiento operativo para atribuir significado a los enunciados de la teoría. Incluso, las reglas resultan ser interpretaciones parciales debido a que las mismas no pueden comprender completamente los significados posibles de tales enunciados. La solución para esta cuestión viene dada a partir de la generación de modelos que proporcionen diferentes semánticas adecuadas para ciertas teorías; lo cual significa otorgar una interpretación donde todos los axiomas de una cierta teoría resultan ser verdaderos. De esta manera, la caracterización semántica de las teorías implica reemplazar las formulaciones sintácticas (formas lógicas) por semánticas que proporcionen diferentes interpretaciones de las mismas. No obstante, las descripciones de estos modelos pueden variar según el lenguaje considerado, el cual no es único debido a que no hay una sola manera en que puede ser expresada una teoría.

Así, lo que se ha dado en llamar *la perspectiva semántica de las teorías* sostiene principalmente que el modelo provee una “realización” en el cual la teoría es satisfecha. Esto significa que el modelo se define en términos de verdad y la teoría sólo es verdadera si dicho modelo la verifica o valida. En este contexto, las teorías son conjuntos de modelos. Tales conjuntos se hallan precisamente delimitados de alguna manera u otra, pero no son necesariamente confinados a un determinado lenguaje formal para especificar exactamente lo que éstos son y cómo constituyen a las teorías. Desde esta perspectiva semántica y a diferencia del punto de vista sintáctico de las teorías, los modelos sí representan lo que acontece en el universo físico.

A los propósitos aquí planteados, cabe decir que la mayoría de las variantes semánticas convergen principalmente en cuestiones inherentes al inter-juego existente entre los modelos, las teorías y sus estructuras y los diferentes aspectos vinculados a la creatividad propios de cada práctica científica. De esta manera, la modelización ocupa un lugar central dentro de esta práctica. En este sentido, comprender el funcionamiento de los modelos es crucial para entender cómo éstos nos proporcionan información respecto del mundo físico. Para Morrison y Morgan, la concepción semántica de las teorías provee algún tipo de análisis respecto de las interrelaciones existentes entre las teorías y los modelos y la importancia de estos últimos en las prácticas observacionales/experimentales. Sin embargo, hay mucho más que decir sobre la

dinámica involucrada en torno a la construcción, el funcionamiento y el uso de los modelos. Según estas autoras, una de las cuestiones más importantes surge al analizar diferentes ejemplos en los cuales los modelos funcionan de diversas maneras. Esto sugiere una cierta autonomía de tales modelos en el trabajo científico. En este sentido los modelos poseen la particularidad de ser agentes autónomos; los cuales pueden ser caracterizados como instrumentos de investigación. Para Morrison y Morgan, existe una importante conexión entre la autonomía de estos modelos y su habilidad de funcionar como instrumentos de exploración. Esto se debe justamente a la independencia parcial que los mismos tienen con respecto a las teorías y a los datos obtenidos de la naturaleza.

De esta manera, pueden darse cuatro elementos básicos que caracterizan los modelos como agentes autónomos que median entre la teoría y los datos empíricos. Tales elementos tienen que ver con la construcción, el funcionamiento, la capacidad representativa y los aspectos inherentes al aprendizaje. En primer lugar, estas autoras dicen que resulta común pensar que los modelos pueden ser derivados completamente de la teoría o de los datos. Sin embargo, si se presta atención a la manera en que los mismos son construidos es posible distinguir las fuentes de su independencia. Esto significa que no existen principios generales para la construcción de modelos; a diferencia de aquellas reglas que en parte guían el diseño de un experimento como los métodos de medición utilizados en el mismo. Algunos sugieren que la modelización implica una cierta *“habilidad tácita”*, la cual es aprendida, indudablemente, en cada práctica científica. Así, la construcción de los modelos seguramente involucra una gran cantidad de destrezas artesanales, las cuales también se hallan inmersas tanto en el diseño de un experimento como en cualquier lugar de dicha práctica. En la mayoría de la literatura científica que trata la modelización de algún objeto o fenómeno físico, deja de lado el elemento creativo involucrado en la construcción de modelos. Aunque no se trate con detalle este tipo de elementos, algunos textos mencionan que la modelización no es sólo una habilidad artesanal sino más bien un “arte”, el cual no es susceptible a reglas.

Así, la construcción de modelos no sólo involucra elementos propios de la teoría y de los fenómenos físicos sino además están presentes otros elementos que se

encuentran fuera del dominio original del cual surge la investigación. Estos elementos externos al dominio de la teoría y de los datos otorgan cierta independencia parcial a la hora de modelar un objeto físico. Pero esta cierta autonomía surge aún en modelos que ampliamente dependen de partes de teorías o son derivados de las mismas. Tales modelos son aquéllos que casi no involucran elementos empíricos en su construcción. Esto puede verse claramente en la construcción de modelos astrofísicos de fenómenos indirectamente observables como la “materia oscura”, por ejemplo. La manera en que esta clase de modelos son contruidos involucra y mezcla partes de teorías que no sólo ayudan a legitimar el modelo luego de su construcción. Esta forma de modelado, más abstracta y menos conectada con el mundo físico, permite seleccionar y ensamblar diversas partes de teorías involucradas.

Por otro lado, la construcción de modelos sólo a partir de datos encierra y mezcla diferentes elementos de evidencia empírica, tales como ciertos datos de objetos e historias de los mismos. Dichos elementos sientan las bases para la toma de decisiones en torno a la modelización de algún otro objeto. Aún en los casos en que los modelos son derivados de las teorías o enteramente de los datos, existen otros elementos independientes en la construcción que hacen que tales modelos sean autónomos. Según Morrison y Morgan, la teoría tampoco provee un algoritmo que establezca cómo los modelos pueden ser contruidos ni tampoco de las decisiones vinculadas al modelado. Generalmente, en la práctica científica estas decisiones llevan a establecer ciertas aproximaciones y simplificaciones, las cuales son tomadas independientemente de los requerimientos teóricos o de las condiciones de los datos.

No existen fundamentos lógicos que expliquen por qué los modelos son contruidos con la propiedad de ser parcialmente independientes. Sin embargo, en la práctica existen suficientes razones que asignan a los modelos la propiedad de ser autónomos. Este rol permite que los mismos medien entre la teoría y el mundo físico y a su vez posibiliten el aprendizaje de ambos dominios. Así, Morrison y Morgan afirman que los modelos no se hallan situados en el medio de una estructura jerárquica entre la teoría y los datos.

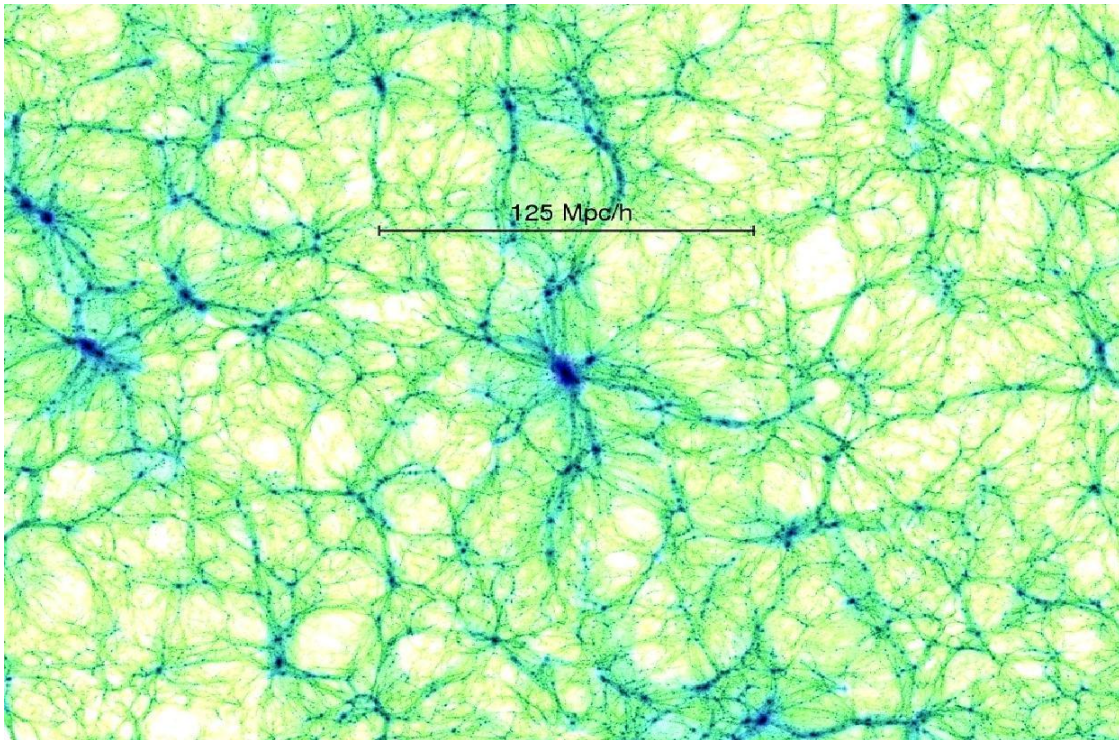
Para ilustrar lo que se ha mencionado arriba, y a los propósitos de este apartado, se tomará un ejemplo específico de la astrofísica. Este consiste en proporcionar un

modelo que intermedie entre los resultados dados a partir de modelos computacionales y teóricos y los resultados obtenidos de la observación. El modelo resultante es considerado un modelo de contraste. Esto significa que este último es construido con el fin de proporcionar un contraste entre los resultados de ambos dominios. Dichos resultados se vinculan precisamente con las formas presentadas en términos de materia oscura por el lado teórico, y la forma de grupos de galaxias por la vía observacional. La manera en la cual se vinculan dichos resultados, requiere fundamentalmente de la destreza, habilidad y experiencia del astrónomo para construir un modelo de contraste que sirva como instrumento mediador entre el modelo teórico y computacional y el modelo de datos considerado.

Por un lado, se emplearon catálogos de galaxias disponibles en la actualidad, los cuales conforman aproximadamente un millón de galaxias en todo el cielo (Paz et al., 2006). Todo lo inherente a estos catálogos, métodos y limitaciones propias de la observación constituye lo que se llama un modelo observacional o de datos. Los métodos utilizados en este modelo consisten principalmente en obtener espectros de galaxias para medir, mediante técnicas espectroscópicas, el corrimiento hacia el rojo de las líneas espectrales. Con ello es posible obtener una estima de las distancias a las cuales se encuentran las galaxias observadas. A partir de esto se definen las asociaciones o grupos de estos objetos como aquellos conjuntos cercanos espacialmente entre sí. Sobre dichos grupos sólo es posible medir su forma bidimensional, o sea, su forma restringida al plano del cielo. Esto es debido a que los métodos de observación no permiten definir la forma del grupo en la línea de la visual [FIG. III.2]. Por el contrario, con el modelo teórico es posible, mediante simulaciones computacionales, predecir formas tridimensionales de estos objetos.

Por otro lado, se tomó bajo consideración el modelo cosmológico estándar, el cual predice un universo conformado en su mayoría por materia oscura (no interactuante con la luz) y en menor medida por materia visible la cual conforma la mayoría de los objetos astronómicos observables. La teoría predice que las galaxias y asociaciones de éstas se hallan contenidas en “burbujas” o “halos” de materia oscura. La forma de dichos halos habla del equilibrio gravitatorio de éstos y de los procesos astrofísicos involucrados en su formación. En este sentido las inferencias que se hacen

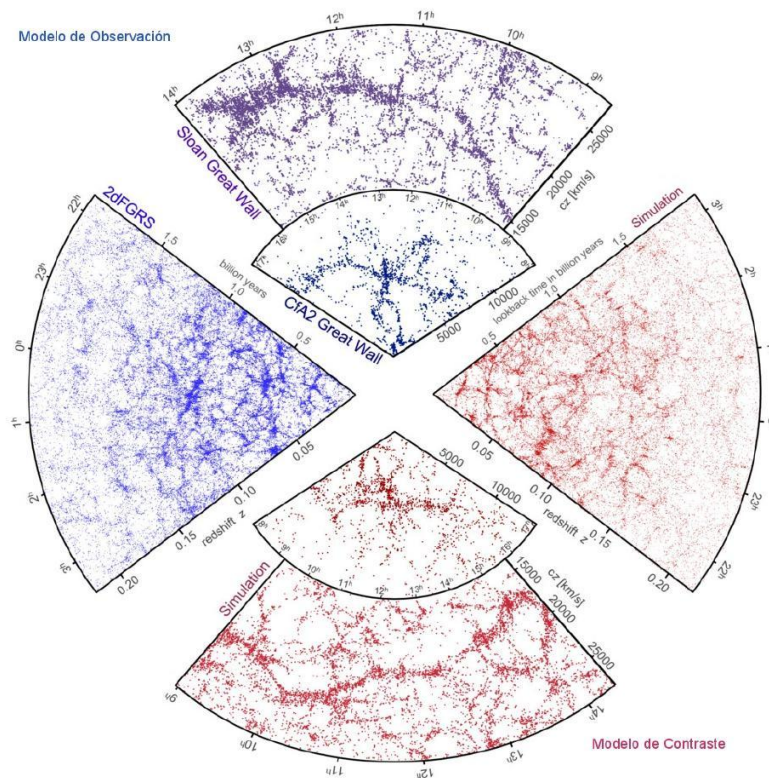
desde el campo teórico son de naturaleza estadística, debido en parte a la necesidad de explicar observaciones de un gran número de galaxias. De esta manera, las conclusiones del modelo teórico son tomadas bajo consideración a la hora de producir un modelo del tipo computacional; el cual sirve como instancia que cristaliza las leyes involucradas en el modelo teórico a través de condiciones iniciales consistentes con el modelo de observación.



[FIG. III.1] REPRESENTACIÓN VISUAL DEL MODELO DE SIMULACIÓN. LA DENSIDAD DE MATERIA OSCURA DE LA SIMULACIÓN AUMENTA DESDE LAS REGIONES CLARAS A LAS MÁS OSCURAS.

Uno de los aspectos inherentes al diseño y construcción del modelo de contraste tiene que ver fundamentalmente con maximizar la capacidad predictiva de las formas de los halos de materia oscura. Esta función permite vincular ahora estas formas con las aquellas observadas en los grupos de galaxias. Una de las limitaciones propias de este tipo de modelado es que el espacio de la muestra considerado en las simulaciones debe ser puesto en función de la muestra tomada de las observaciones disponibles. De otra manera, no sería posible establecer una comparación entre halos y grupos. Como

primer paso en la construcción del modelo de contraste, se tradujeron las distribuciones de halos de materia oscura de la simulación a distribuciones de grupos galaxias. Para ello, se aplicó en la simulación un modelo de formación de galaxias. Así, se asoció a cada halo de materia oscura, en base a un modelo que tiene en cuenta leyes empíricas de la cosmología y física fundamental, una o varias galaxias virtuales con propiedades análogas a las observadas. Una vez poblada la simulación, se ubicó un observador en ésta. Sobre este último se aplicaron todas las condiciones de observación involucradas y determinadas al momento de la producción de los catálogos de galaxias, es decir, se reprodujo en este “observador virtual” el modelo observacional. Esto es en sí mismo el modelo de contraste, ya que se tradujeron los halos de materia oscura tridimensionales (propios del modelo teórico) en conjuntos de galaxias observadas y por ende proyectadas en el cielo del observador simulado (ver partes inferior y derecha de la siguiente figura).



[FIG. III.2] REPRESENTACIÓN VISUAL DE LOS MODELOS DE OBSERVACIÓN Y DE CONTRASTE. LA DENSIDAD DE GALAXIAS AUMENTA DE LAS REGIONES MÁS CLARAS A LAS OSCURAS.

La construcción de este modelo de contraste permitió mediar datos observacionales y teoría, mediante simulaciones computacionales, en un espacio de representación análogo al universo observable. En dicha representación, se halló que las observaciones de las formas de los grupos de galaxias se encuentran en perfecto acuerdo con la teoría. Un factor determinante para el éxito del modelo de contraste es la adaptación del tamaño de la muestra simulada con la muestra observacional provista por los catálogos. Otro factor determinante es el efecto de proyección de las formas tridimensionales simuladas a formas bidimensionales en el plano del cielo.

En este ejemplo, el modelo de contraste posee diferentes funciones que permiten corregir las teorías involucradas en el modelo teórico; incluso es usado como instrumento para explorar las implicaciones que tienen estas teorías en situaciones concretas. Asimismo, cuando ciertos procesos inherentes a este modelo no son encontrados en la teoría, esta última permite ajustarlo. Por otra parte, los modelos computacionales son apropiados para aplicar teoría. En el ejemplo mencionado, puede verse que estos últimos limitan el dominio de los conceptos y enunciados abstractos pertenecientes a una teoría. Además, dichos modelos de simulación computacional también son usados como instrumentos para el diseño de un modelo de observación. Esto significa que, al considerar las predicciones a partir de una simulación de algún objeto o proceso físico, se toman las decisiones adecuadas para el diseño y construcción de instrumentos, aparatos o piezas de equipo. En la mayoría de estos casos, la construcción de un modelo de datos a partir de las predicciones del modelo de simulación debe esperar a que la tecnología alcance un grado de desarrollo factible o realizable. Incluso, a la hora de construir un modelo de simulación con esta finalidad, se toman bajo consideración el estado actual de la tecnología y su desarrollo en el futuro. Esto puede verse en los proyectos de *“ciencia grande”* los cuales van cubriendo etapas en función de los alcances tecnológicos; tales como aquellos proyectos de la astrofísica vinculados al desarrollo de grandes interferómetros, telescopios en órbita, por ejemplo.

Además, los modelos computacionales sirven como instrumentos que pueden precisar diversos aspectos y propiedades físicas tales como las diversas relaciones, distribuciones espaciales y temporales de las formas tridimensionales de los halos de materia oscura; los cuales son los contenedores de los grupos de galaxias. Morrison y

Morgan mencionan que esta clase de modelos, como el de contraste, no son representaciones en un sentido clásico, es decir, imágenes especulares que reflejan el universo físico. Dichos modelos son interpretaciones parciales que abstraen y traducen términos o enunciados de la teoría, como halos de materia oscura, en enunciados y conceptos observacionales, como asociaciones y grupos de galaxias.

De esta manera, se ha tratado de mostrar que es común pensar que los modelos pueden ser derivados completamente de la teoría o de los datos. Sin embargo, en la misma construcción puede verse claramente las diversas fuentes de su independencia. Así, los componentes internos (elementos teóricos y observacionales) y externos (decisiones vinculadas al diseño y modelado) proporcionan la semilla que germina la capacidad mediadora de los modelos. En el ejemplo considerado, puede verse claramente que estos últimos son instrumentos que median entre la teoría y la naturaleza. Como tales, los mismos son usados como dispositivos de investigación para el aprendizaje y el conocimiento de un cierto fenómeno u objeto físico. Estos instrumentos permiten representar algún aspecto de la naturaleza física, alguna característica inherente a ciertas teorías que describen la misma, o bien ambas cosas. El poder representativo de los modelos permite que ellos no sean meras herramientas sino instrumentos que además simplifican, aproximan y proveen información certera con respecto a lo que los mismos representan.

III.4 El rol y el alcance de la medición en la simulación astronómica

Esta parte se sitúa dentro del contexto en el cual las simulaciones computacionales juegan un papel esencial como auxiliares de la práctica observacional en la astronomía. Uno de los roles más importantes tiene que ver con la función que poseen tales simulaciones con respecto a determinadas mediciones de ciertos fenómenos y objetos astronómicos. En este sentido, los modelos de simulación suelen arrojar resultados, los cuales son eventualmente medibles o cuantificables. Tales modelos son entendidos como representaciones de ciertos sistemas astrofísicos. Así, mediante el uso de determinados programas computacionales, los diversos modelos teóricos de fenómenos son implementados en una computadora.

Aunque exista una fuerte tendencia a unificarse y a ocupar el mismo estatus o nivel epistémicos dentro de la práctica observacional/experimental, la medición posee diversos rostros con respecto a la simulación y a la observación convencional. Así, el concepto de medición se halla sujeto a una cierta tensión originada por estos dos ámbitos dentro de la práctica científica. El objetivo de este apartado consiste en mostrar el alcance que poseen las mediciones logradas a partir de las simulaciones computacionales, con respecto a aquellas obtenidas mediante la observación tradicional.

Para mostrar esto, se tomará como hipótesis de trabajo la conceptualización y el análisis planteado por Morrison (2009). Ella sostiene la idea de que, en algunos casos, los modelos de simulación son objetos de estudio; en otros, poseen la capacidad de funcionar como instrumentos de medición. En su trabajo, expone además las diferentes maneras en las cuales puede afirmarse que la simulación constituye y forma parte de la experimentación. De esta manera, logra establecer diversas conexiones entre las simulaciones y los diferentes supuestos y estrategias para el modelado de ciertos fenómenos físicos. Tales conexiones forman parte esencial de la actividad experimental. Esto permite clarificar los contextos en los cuales se desarrollan las simulaciones computacionales para vincularlas a dicha práctica.

Según este esquema, Morrison afirma que determinar las posibles conexiones entre los diferentes modelos y la medición es importante para distinguir entre medición y cálculo y, a su vez, entre experimento y simulación. Es sabido que la medición tradicional se encuentra ligada al mundo físico de alguna manera causal a través de determinados aparatos. A diferencia de ello, el cálculo se halla relacionado a la actividad matemática, es decir, al pensamiento abstracto que se plasma en papel o en una simulación por computadora (ver, por ejemplo: Tal, 2011, 2012, 2013). De todos modos, la autora sostiene la idea de que las simulaciones computacionales, al tener la capacidad de funcionar como instrumentos de medición, forman parte de la experimentación. En las últimas décadas, las simulaciones han evolucionado notablemente y han dejado de ser meras masticadoras de números para convertirse en herramientas insustituibles en la práctica experimental. Para ilustrar esto se tomarán en

consideración diversos ejemplos astronómicos relacionados a la modelización de la evolución de la estructura en gran escala del universo.

Morrison se concentra en una clase particular de simulación computacional, la cual utiliza el método de partículas. Este método involucra seguir el movimiento de una gran cantidad de estas últimas, las cuales son también usadas para calcular la evolución del sistema simulado que se desarrolla en función del tiempo y de ciertas condiciones iniciales preestablecidas. Estos valores iniciales condicionan al sistema no sólo en un tiempo inicial sino en una porción finita de espacio que posee propiedades ligadas a ciertas condiciones límites, inicialmente estipuladas. En consecuencia, la simulación va registrando la evolución de la configuración inicial a medida que se desarrolla en el tiempo. Así, la simulación debe necesariamente disponer de un modelo matemático apropiado para poder representar fielmente el sistema físico bajo consideración. El método de partículas permite discretizar la solución de las ecuaciones presentadas por el modelo matemático, mientras que la discretización de las ecuaciones se lleva a cabo mediante aproximaciones de diferencias y elementos finitos.

De esta manera, los diversos sistemas astrofísicos pueden ser modelados mediante el método de partículas mencionado anteriormente. Por un lado, este último asigna a cada partícula ciertas propiedades observables y medibles tales como la masa, la energía, distancia entre ellas, etc. Por otro lado, cada estado del sistema físico representado es definido por determinados atributos asignados a conjuntos de tales partículas. Estas colecciones son también cuantificables y evolucionan de acuerdo a reglas o leyes que dominan a dichas partículas. En las simulaciones de sistemas dinámicos como cúmulos estelares, cada partícula representa una estrella con ciertos atributos observables. De igual forma, en las simulaciones de sistemas de galaxias (grupos o cúmulos) cada galaxia es representada por una partícula con determinadas propiedades físicas observadas. En un caso o en otro, las partículas se rigen de acuerdo a las leyes de la física que gobiernan ambos sistemas. Así, las interrelaciones que vinculan a las partículas de la simulación con estrellas, galaxias o demás objetos naturales están en función de los recursos finitos que provee la computadora en términos de escalas de tiempo y espacio.

En esta dirección, la autora se pregunta sobre cuáles son las relaciones entre este método de discretización, las simulaciones y el sistema físico. Ella argumenta que existe un proceso que comienza en el fenómeno natural y en el modelo matemático utilizado en tal sistema. Luego, se aplica un método de aproximación para discretizar dicho modelo matemático y hacerlo computacionalmente tratable. En consecuencia, las ecuaciones algebraicas son tomadas para describir un modelo de simulación de partículas, el cual es expresado y definido con algoritmos específicos dados por un programa de simulación. Por lo tanto, un modelo de simulación es el resultado de aplicar una clase particular de discretización al modelo matemático o teórico del sistema físico bajo investigación. Así, la representación dada por un modelo de simulación ayuda a desarrollar los algoritmos necesarios para el diseño y construcción de programas especializados. La arquitectura de un programa se halla estrechamente relacionada con el costo y beneficio existente entre la precisión de la representación y la capacidad del sistema de simulación. Esto establece un balance entre la calidad de la representación, la velocidad de cómputo y la simplicidad del programa empleado. Según Morrison, un “sistema de simulación” se halla constituido por tres elementos principales: una computadora, un programa y un modelo de simulación. Dichos elementos permiten estudiar la evolución de un sistema físico, o sea, investigar los modelos de fenómenos dinámicos, los cuales son representados mediante modelos matemáticos eventualmente sofisticados.

Según la autora, hay suficientes razones como para pensar que este tipo de investigación está estrechamente vinculada a la actividad experimental. Más precisamente, ella se refiere a que tales estudios son experimentos computacionales. En este sentido, podría pensarse que un sistema de simulación propiamente dicho involucra tanto el aparato como el material que está siendo investigado. Por un lado, al tener en cuenta que dicho sistema es en parte considerado como un instrumento experimental, el mismo provee un cierto entorno de control que se nutre de una variedad de condiciones iniciales, valores y parámetros de ajuste. Por consiguiente, tal sistema de simulación posee la capacidad de funcionar como una pieza de equipo de laboratorio; esto además permite que dicho instrumental sea utilizado como un dispositivo para obtener cierto tipo de mediciones. Por otro lado, el material bajo

consideración consiste en el modelo de simulación, el cual es una representación del sistema físico de interés. Este último es representado de acuerdo a las limitaciones arrojadas por el método de discretización empleado. En otras palabras, los modelos de simulación logrados a partir del método de partículas permiten generar representaciones apropiadas de modelos de fenómenos físicos. Así, el material de un sistema de simulación consiste en la actividad experimental de elaborar tales representaciones mediante el uso de computadoras y programas especializados. De esta manera, Morrison define que un sistema de simulación se constituye de un aparato, integrado por una computadora más un programa, y del material bajo estudio que involucra un modelo de simulación determinado.

Es tentador pensar que Morrison, cuando se refiere al material bajo investigación, confunde el modelo de simulación con el fenómeno. Esto es, entre la representación lograda en una computadora y las propiedades físicas inherentes a un cierto objeto material que puede ser manipulado. En este sentido, la autora afirma que el material considerado, a diferencia de los experimentos tradicionales, es el modelo de simulación y no el sistema natural que se pretende modelar. De esta manera, ella asevera que tal modelo está siendo estudiado y es intervenido y manipulado mediante el instrumento del sistema de simulación, o sea, a través de la computadora y del programa. En los modelos cosmológicos simulados, la intervención a través del cambio de valores de constantes “fundamentales”, tales como la expansión del universo, permite observar cambios en la formación y evolución de galaxias y sistemas de éstas. No obstante, el modelo investigado no es más que una representación de un sistema astrofísico que pertenece al mundo natural. Como se mencionó anteriormente, esta representación se halla sujeta a las diversas relaciones que posee con el modelo matemático o teórico del fenómeno físico considerado. Por lo tanto, el modelo de simulación es el objeto de investigación en los “estudios de simulaciones computacionales”. No obstante, este modelo es una representación del fenómeno que paralelamente se halla bajo investigación y se pretende modelar con la computadora.

En disciplinas como la cosmología y la astrofísica existen tanto los estudios de simulaciones, inherentes al diseño experimental, como así también aquellos cuyo objeto de investigación es el fenómeno físico. Esta segunda clase de estudios toma como

herramienta metodológica a la simulación, permitiendo el contraste del modelo teórico del fenómeno con predicciones de otros modelos como así también con datos observacionales. Un ejemplo de ello es el contraste que hay entre la curva de rotación de una cierta galaxia medida telescópicamente con las curvas predichas por modelos de simulación basados en teorías distintas. En este ejemplo puede notarse además que tales predicciones poseen diversos supuestos, tales como “materia oscura” o “gravedad modificada”, que sugieren mecanismos astrofísicos diferentes. En este sentido, cabe destacar que el sistema de simulación cambia, en tanto que se modifican los programas y las técnicas de modelado que resultan más adecuadas según el modelo teórico subyacente. En estas investigaciones, los modelos de simulación son usados como herramientas teóricas que permiten indagar sobre la naturaleza del sistema físico bajo estudio. En este sentido, las simulaciones computacionales se convierten en auxiliares de la práctica observacional/experimental de la astronomía.

Morrison afirma que, si se entiende que manipular e intervenir sobre un modelo de simulación es una actividad exclusiva del cálculo y no de la experimentación, entonces, no existe ninguna base para vincular tal simulación con la medición. Por lo tanto, resultaría imposible relacionar a las simulaciones computacionales como auxiliares de la práctica astronómica. Desde este punto de vista, el solo hecho de manipular modelos y de intervenir en computadoras de un sistema de simulación no alcanza epistemológicamente para situar a tales simulaciones en la actividad experimental. Aun así, al definir que éstas últimas son sólo experimentos numéricos, limitan su alcance y funcionan únicamente como instrumentos de cálculo.

Morrison afirma que los modelos de simulaciones computacionales son herramientas experimentales capaces de funcionar como instrumentos de medición. No obstante, como se ha visto anteriormente, dichos modelos son algunas veces los objetos de investigación en los estudios de simulaciones. La autora argumenta que los modelos de simulación actúan como dispositivos de medición y esto permite que su rol sea fundamental a la hora de definir su carácter experimental. Suponer estos tipos de prácticas de modelado, permite identificar la salida de datos simulados como mediciones.

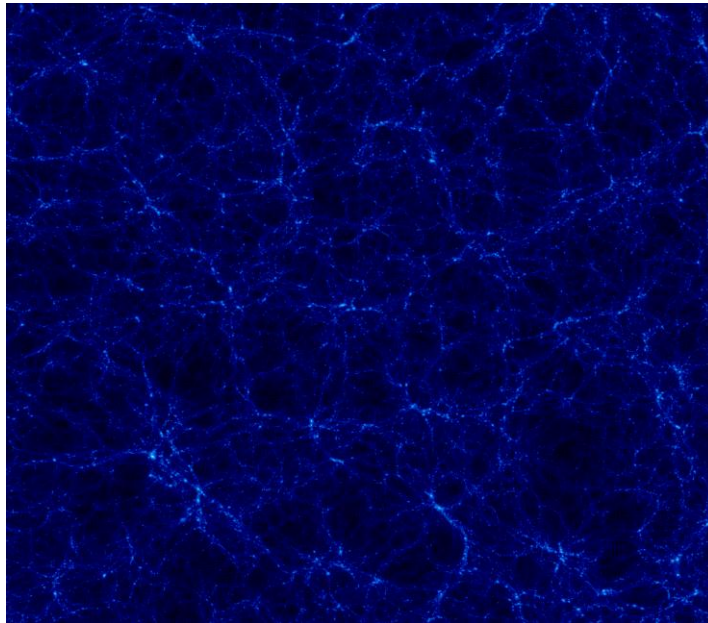
Los diferentes métodos estadísticos tratan los resultados arrojados por el modelo de simulación. Este tratamiento estadístico de los datos permite la articulación tanto con las predicciones teóricas del modelo del fenómeno físico, como así también con los datos obtenidos mediante diversas observaciones. Así, un buen diseño experimental conecta adecuadamente a ambos. Morrison se refiere a que el nivel de sofisticación del aparato determina la precisión de la medición lograda. Esta precisión viene dada por la apreciación de una computadora (dada por la capacidad en bits de su procesador) y el nivel de discretización implementado en el programa (dado por los métodos de partículas y de diferencias finitas). Sin embargo, la autora afirma que son los análisis de corrección de factores los que efectivamente determinan la exactitud o fidelidad (*accuracy*) de la medición. En consecuencia, esta fidelidad se define a partir de las técnicas necesarias para medir de manera discreta el modelo simulado y de los diversos supuestos inherentes al contexto experimental.

Distinguir entre precisión de una medición y exactitud de una medición es de suma importancia a la hora de diferenciar entre medición y cálculo. En este sentido, la fidelidad de un conjunto de mediciones permite realizar inferencias estadísticas confiables. Así, la certeza de tales inferencias se halla en función del valor de verdad correspondiente a las mediciones consideradas. Esto depende del uso del sistema de simulación empleado y del control que se tenga del mismo experimento. Aunque esta distinción es clara en las disciplinas experimentales tradicionales, en esta sección se piensa que la misma puede ser repensada y ampliamente discutida en aquellos contextos en los cuales se emplean simulaciones computacionales. No obstante, Morrison sugiere además diferenciar entre medición fundamental y derivada. La primera hace referencia a la observación de ciertas relaciones existentes entre los objetos investigados. Luego, se definen los procedimientos estadísticos necesarios (de conteo, básicamente) para cuantificar dichas relaciones observadas. La segunda toma estos procedimientos, pero además agrega un cálculo a través de diferentes operaciones matemáticas abstractas. Esta distinción “intuitiva” entre mediciones fundamentales y derivadas permite diferenciar entre medición y cálculo.

En esta dirección, este apartado intenta esclarecer dicha distinción mencionando un ejemplo del estudio de la estructura a gran escala del universo (Paz et al., 2006).

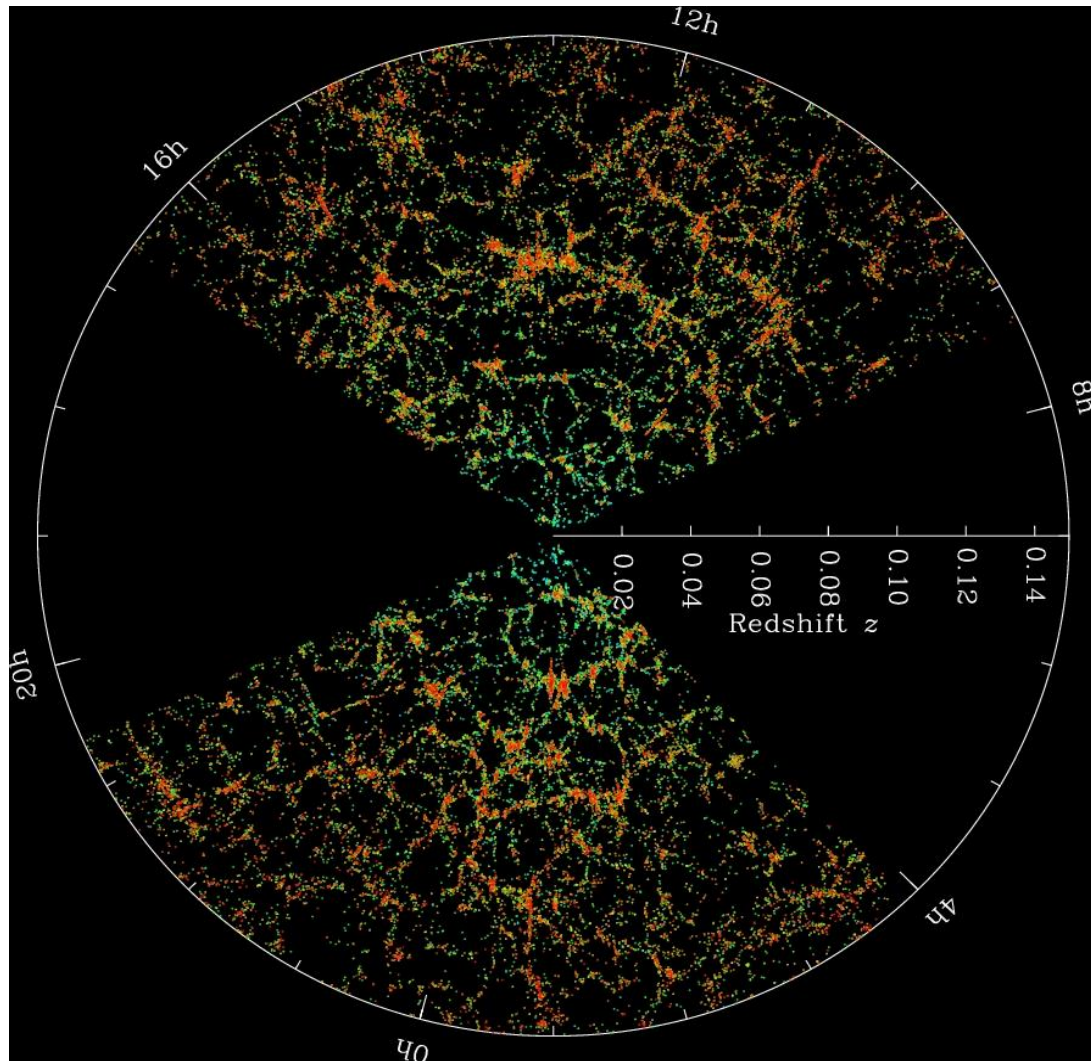
Estas estructuras evolucionan y forman una red de cúmulos y grupos interconectados a través de filamentos. Dichas estructuras se hallan constituidas por asociaciones de galaxias que van desde unas pocas decenas, a miles de estos objetos. El marco teórico implementado en el modelo de simulación hace referencia a la cosmología estándar. Esta última explica la formación de estos sistemas naturales mediante diferentes mecanismos astrofísicos, tales como la inestabilidad gravitacional por la presencia de materia oscura, por ejemplo.

Así, el sistema de simulación se halla conformado por un clúster de computadoras, un programa que implementa un método de partículas determinado y un modelo de simulación que representa la evolución dinámica de la estructura del universo. Los datos arrojados por el modelo simulado son las posiciones de las partículas en una sección cubica de tamaño cosmológico, o sea, una porción significativa estadísticamente de acuerdo con la fidelidad de la medición que se pretende obtener. Sobre este volumen se aplican condiciones de contorno, ya determinadas en los estudios de simulación, y condiciones iniciales definidas mediante ciertas observaciones tales como las del fondo de microondas. El sistema natural que se pretende modelar, computacionalmente, es la distribución estadística de las galaxias en estructuras a gran escala.



[FIG. III.3] SIMULACIÓN DE LA FORMACIÓN Y EVOLUCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL UNIVERSO A GRAN ESCALA.

Por otro lado, las observaciones obtenidas espectroscópicamente revelan la distribución de la posición angular y la distancia radial de un gran número de galaxias sobre una región del cielo (Abazajian et al., 2009). Estos catálogos contienen las posiciones y distancias astrométricas de cerca de un millón galaxias.



[FIG. III.4] CATÁLOGO ESPECTROSCÓPICO DE GALAXIAS DEL SLOAN DIGITAL SKY SURVEY (SDSS).

De esta manera, el espacio de muestreo es estadísticamente comparable al obtenido mediante la simulación computacional. En consecuencia, tanto el modelo de datos observacionales como el modelo de simulación, permiten realizar mediciones precisas y fieles de la distribución estadística de la estructura del universo a gran escala. La precisión depende de la astrometría en la observación telescópica, mientras

que en las simulaciones depende de la apreciación del modelo de simulación, es decir, de la calidad de la representación dada por las capacidades del clúster de computadoras y del programa. La fidelidad se corresponde con el tamaño del espacio muestral considerado en las observaciones y en las simulaciones. Así también, se corresponde con las diversas técnicas de modelización, métodos de control y supuestos tomados bajo consideración; los cuales son de naturaleza distinta en cada contexto.

Morrison concluye que los modelos de simulación no son entidades simbólicas abstractas. La manipulación e intervención sobre los mismos es una actividad que va más allá de un mero cálculo. Sin embargo, se ha visto que este último está presente y forma parte de cualquier proceso de medición, es decir, tanto en las observaciones tradicionales como en las simulaciones. Tomando una posición medianamente escéptica, con respecto al punto de vista de la autora, aquí se concluye lo siguiente: aunque exista, en la actualidad, una fuerte tendencia a situar a la medición en el mismo plano epistémico con respecto a la observación y a la simulación, se pierden ciertos matices sutiles de relevancia epistemológica y ontológica. Estos últimos, subyacen en la articulación de supuestos teóricos y aspectos prácticos inherentes a la medición clásica. Este es uno de los sentidos en los cuales se define la metrología como la ciencia y el “arte” de la medición.

De esta forma, se ha intentado mostrar que los modelos pueden ser objetos de estudios de simulación, o bien, pueden funcionar como instrumentos para medir los resultados producidos por ellos mismos. A diferencia de esta función, la medición tradicional involucra una práctica que conecta, de alguna forma causal, el instrumento o aparato de medición con el objeto físico bajo investigación. Por un lado, una medición clásica fundamental permite cuantificar una cierta propiedad, atributo observable o magnitud física de un objeto determinado, mientras que, en el ámbito de las simulaciones, se pierde esta dimensión ontológica. Por otro lado, bajo algún criterio de causalidad, puede sugerirse, eventualmente, una experimentación fuerte o estricta. Sin embargo, es sabido que en la astronomía este tipo de experimentos materiales no son viables. Esta problemática contrasta con la discusión filosófica, la cual no es un tópico aquí, acerca de la “materialidad” de las simulaciones computacionales. Más allá de si esta materialidad es situada dentro o fuera del sistema de simulación, la distinción

“intuitiva” propuesta por Morrison entre precisión y fidelidad y entre medición fundamental y derivada, permite diferenciar a su vez entre medición y cálculo. Con lo cual, se sostiene que tal “intuición” hace posible incluir a las simulaciones computacionales como auxiliares dentro de la práctica observacional astronómica.

III.5 Validación de modelos computacionales en astronomía

Dada la relevancia de la computación en los laboratorios astronómicos actuales, se destaca como uno de sus frentes más importantes aquél que involucra a las simulaciones computacionales en el ámbito observacional de la cosmología contemporánea. Estos modelos de simulación están estrechamente ligados a los resultados obtenidos mediante los procesos observacionales más sofisticados, logrando así validar tales modelos de diferentes maneras. En este sentido, como se ha mostrado antes, las simulaciones cosmológicas hacen posible la generación de modelos de contraste, los cuales permiten la comparación entre los datos simulados con aquéllos alcanzados por la vía tradicional (Bozzoli y Paz, 2010). Así, uno de los roles más significativos de estos modelos computacionales es la capacidad de reproducir no sólo los resultados de las observaciones más recientes, sino incluso ciertos procesos físicos que subyacen en cada instancia del modelo de datos observables considerado: errores metodológicos, efectos de proyección, ruidos instrumentales, etc. En esta sección se abordarán diferentes estrategias de validación de simulaciones en torno de la dinámica proceso-producto computacional, como de aquélla observacional.

En la literatura filosófica vigente, la evaluación de los modelos de simulación ha sido planteada por diferentes autores que sostienen que tal valoración consiste en algo más que comparar los datos simulados con los datos observacionales/experimentales (Humphreys, 2013). De esta manera, con la escasa información sobre cómo este contraste puede llevarse a cabo, lo que ciertamente importa es concebir la capacidad del modelo computacional a la hora de proveer evidencia a favor de alguna hipótesis específica dada (Parker, 2008, 2014, 2015). Con este fin, la evaluación es caracterizada, en contextos ingenieriles y científicos, en términos de verificación y de validación. El primer caso consiste en saber si el proceso que determina el resultado de

una simulación se aproxima a las soluciones arrojadas por las ecuaciones diferenciales, presentes en el modelo del fenómeno físico. Pese a que este método es inadecuado en aquellos casos donde las soluciones analíticas no estén disponibles, se recurre a otras técnicas indirectas a fin de establecer una comparación más confiable. A los propósitos de este apartado, se dejará de lado esta clase de prácticas. Una de las estrategias del segundo caso consiste en cotejar los datos simulados con los datos observacionales, aun cuando estos últimos sean escasos. Esto debilita el contraste, logrando que este método empleado sea demasiado débil para establecer la evaluación de las simulaciones (Winsberg, 2010). La credibilidad de estas últimas está basada en los modelos físicos, en las observaciones y en la interacción entre ambos. Al no haber un protocolo para validar tales simulaciones, surgen distintas formas de establecer vínculos entre el modelo del fenómeno bajo investigación y los datos empíricos adquiridos, dando lugar a posibles reinterpretaciones de las observaciones, por ejemplo. Ello sugiere que las prácticas de validación sean heterogéneas y puedan ser identificadas, a grandes rasgos, siguiendo dos enfoques. Uno pretende validar inicialmente los modelos computacionales con bases de datos observables disponibles (“*top-down*”). El otro intenta realizar la validación a través del ajuste de parámetros conforme a los resultados obtenidos mediante las observaciones, transfiriendo así el contenido empírico a simulaciones más sofisticadas (“*bottom-up*”) (Guillemot, 2010).

El modelo cosmológico estándar, denominado Λ CDM (*Lambda Cold Dark Matter*), postula que la distribución de la materia en el universo es lo suficientemente regular como para asumir que el mismo es homogéneo e isótropo. Además, las observaciones actuales de cierto tipo de supernovas (Ia) revelan que el universo se expande de forma acelerada. Ello conduce a reintroducir la constante cosmológica en este modelo para dar cuenta de tal aceleración, postulando como causa de la misma una entidad exótica denominada “energía oscura”. Estudios recientes cuestionan la existencia de dicha entidad, sugiriendo una explicación alternativa, fuera de lo convencional, a través de una reinterpretación estadística de las bases de datos disponibles. Sin alterar la física del modelo canónico y teniendo en cuenta la estructura observable del universo a gran escala, estos astrónomos proponen un modelo del mismo con una expansión diferencial. Al realizar el modelo computacional, las

simulaciones reproducen tales estructuras observadas, revelando cómo éstas alteran la expansión (Rácz et al, 2017). Atendiendo a este estudio de caso, y pese a las diferencias notorias entre los procesos observacionales y aquéllos computacionales, se intentará mostrar que las simulaciones, al alcanzar un nivel de validación sustentable, arrojan resultados que adquieren el mismo estatus evidencial que los obtenidos observacionalmente. De esta manera, es posible sostener que los modelos de simulación son herramientas indispensables de la cosmología actual y deben ser considerados instrumentos alternativos de la observación.

III.6 Conexiones entre la observación y la simulación

Guillemot (2010) sostiene que, en la actualidad, son escasos los abordajes filosóficos sobre la validación de modelos a través de la comparación con las bases de datos observacionales, las cuales proveen el soporte evidencial que otorga confiabilidad a las simulaciones computacionales. Así, la credibilidad de estas últimas es lograda a través del contraste con las mediciones obtenidas por la vía tradicional. En este sentido, al explorar y analizar las interrelaciones entre diferentes capas de datos y los modelos de simulación, esta autora intenta rescatar el rol crucial de las prácticas de observación en la evaluación y la parametrización de dichos modelos.

Desde la perspectiva de la “concepción semántica” de las teorías, los modelos son principalmente representaciones que dan significado a los formalismos matemáticos presentados por aquéllas. Sin embargo, en las últimas décadas, se ha repensado la noción de modelo, aludiendo a la supremacía de ellos con respecto a la capacidad representacional de las teorías (Cartwright, 1999). En esta dirección, se ha caracterizado a los modelos como agentes autónomos, los cuales son relativamente independientes tanto de la teoría como del mundo físico (Morrison y Morgan, 1999). Esta autonomía permite que los modelos sean considerados como instrumentos de exploración en ambos dominios. Además, ellos poseen la capacidad de mediar activamente entre la teoría y los datos observacionales, lo cual permite que el modelado de fenómenos complejos no pueda ser reducido a meros cálculos de aquellas teorías subyacentes. Aun cuando estas últimas den cuenta de los procesos físicos

involucrados, los modelos de simulación incluyen cadenas inferenciales sofisticadas que transforman las estructuras teóricas en conocimiento concreto del fenómeno (Winsberg, 1999). Dado que los modelos y las bases de datos están interrelacionados, algunos autores sostienen que los primeros están “cargados” de datos, mientras que éstos últimos están sesgados por tales modelos. Dicha relación de interdependencia no es circular sino simbiótica, es decir, cada lado obtiene ventaja uno del otro (Edwards, 1999). Desde esta perspectiva, los modelos computacionales son tan confiables como aquellos tradicionales, ya que alcanzan cierto grado de credibilidad a través de sus vínculos con las observaciones y los experimentos. Las credenciales epistémicas de las simulaciones son logradas en función de las teorías y de los experimentos, como así también de los métodos de modelado más aceptados por la comunidad científica. Al igual que en las prácticas más ortodoxas, el desarrollo instrumental condiciona las técnicas asociadas, permitiendo algún tipo de estabilidad interna y auto-vindicación de las mismas a lo largo del tiempo.

Desde el surgimiento de los primeros modelos numéricos hasta la actualidad, la computación ha permitido la comprensión de una variedad de fenómenos en diferentes campos de las ciencias naturales. A través de estos modelos, se generan nuevos conocimientos que describen las interacciones entre los objetos y sus propiedades dentro de un sistema físico determinado. Bajo condiciones límite específicas, dichos modelos reproducen algunas características de los procesos involucrados y el comportamiento de tal sistema. De esta manera, el modelado computacional posibilita la exploración de fenómenos físicos logrados virtualmente. En este sentido, este tipo de experimentación guarda similitud con aquella llevada a cabo en los laboratorios. Por un lado, dada su capacidad representacional, es posible manipular los parámetros físicos y chequear las hipótesis teóricas involucradas. Por el otro, los resultados arrojados por estos modelos generan bases de datos simulados, los cuales deben ser interpretados y medidos. Sin embargo, para Guillemot hay una clara distinción entre los experimentos tradicionales y los computacionales. Estos últimos están basados en símbolos y dígitos y no poseen una confrontación directa con el mundo. No obstante, en ambos dominios está presente la selección y el ajuste de parámetros físicos. Así, la parametrización,

además de asignar valores a las magnitudes implicadas, permite articular los cálculos provistos por las teorías con las mediciones obtenidas por las observaciones.

Aunque los modelos experimentales de laboratorio parecen alcanzar un significado más amplio que aquéllos numéricos, las simulaciones muestran, por el contrario, una imagen bastante nítida de la confluencia de diferentes técnicas. Por ejemplo, esta autora menciona que para poder chequear una hipótesis dada es necesario traducirla, mediante métodos numéricos específicos, en forma de un algoritmo que es insertado en el modelo computacional para luego ejecutarlo en una computadora. El modelo de simulación resultante, aunque se halla limitado a un ámbito virtual, se nutre de aspectos tanto teóricos como experimentales. Ella sostiene que la experimentación numérica es, por sí sola, insuficiente y que sólo alcanza su estatus como práctica de modelado cuando incorpora, de una u otra manera, datos observacionales que impregnen empíricamente al modelo y permitan la confrontación indirecta del mismo con el mundo físico. Aunque el rol de la computación es crucial en el modelado de fenómenos meteorológicos, astronómicos o físicos, otros ingredientes son necesarios para que estas prácticas sean eficientes. En particular, el avance tecnológico de los instrumentos de observación, desde equipos en tierra hasta satélites artificiales puestos en órbita, y de las técnicas desarrolladas para su empleo proporcionan la información necesaria para el modelado de dichos fenómenos. No obstante, estas herramientas de la observación utilizan, eventualmente, otros auxiliares como recursos computacionales para la adquisición, reducción y análisis estadístico de datos. Algunos de ellos son usados en función del automatismo propio de los sistemas instrumentales actuales, otros son programas expertos necesarios para la identificación y clasificación de objetos, por ejemplo. De esta manera, la asimilación de datos en modelos es posible gracias a la sinergia entre las prácticas teóricas, observacionales e instrumentales. Como se notará más adelante, la modelización en la astronomía genera, dentro de la comunidad de los astrónomos observacionales, distintas sensibilidades hacia los aparatos tradicionales, o bien, hacia las computadoras. En este trabajo se sostendrá que, a través de estas últimas, como parte esencial de los sistemas multi-instrumentales más recientes, es posible llevar a cabo observaciones de fenómenos que involucran procesos astrofísicos sofisticados.

Guillemot cuestiona qué tipos de datos se confrontan con los resultados de las simulaciones. Más allá del estudio de caso que ella considera, se plantea que tales datos observacionales son altamente reconstruidos; por ello, existe la necesidad de considerar los diferentes mecanismos de producción de datos y sus respectivos modelos de datos asociados. La astronomía, al igual que otras ciencias naturales como la paleontología, es una disciplina histórica. Ello permite articular los registros observacionales del pasado con bases de datos actuales, completando la información faltante mediante el uso de modelos computacionales. A diferencia de la meteorología y de la climatología, la dinámica de la mayoría de los fenómenos astronómicos no puede alcanzarse en tiempos humanos, salvo objetos transitorios como aquéllos que acontecen en el sistema solar o ciertos tipos de estrellas variables o supernovas, entre otros. Con la asistencia de modelos de simulación, puede obtenerse una imagen de la evolución del universo como un todo y de las partes que lo constituyen. Asimismo, la computación permite cerrar las grietas entre módulos de datos interconectados, ya sean observacionales o simulados, y estandarizarlos en entornos como el de los observatorios virtuales para su uso posterior en la exploración y minería de datos (Bozzoli, 2015).

III.7 Tipos de validación de modelos de simulación

Guillemot sostiene que la evaluación de los modelos meteorológicos es, al menos en principio, más simple y directa que en los modelos climáticos. De forma similar a estos últimos, la valoración de los modelos astrofísicos posee un alto contenido estadístico. En particular, las simulaciones cosmológicas están condicionadas, en parte, por valores de parámetros físicos que están ligados a bases de datos observacionales, tal como lo es la medición de la constante de Hubble para distintos estados evolutivos del universo. Dada la interacción de los diferentes procesos astrofísicos involucrados en estos modelos, se valida la representación de un fenómeno en particular de manera más o menos confiable. Ello depende del poder de síntesis de una simulación computacional en cuanto a su capacidad de generar fenómenos dentro del modelo, los cuales son predichos teóricamente. Este aspecto permite validar tanto el modelo, como las teorías

implicadas. No obstante, debido a que las simulaciones son cada vez más sofisticadas, su validación, a través de las observaciones, puede resultar de la combinación de una hipótesis errónea y de una representación imprecisa del modelo. De esta manera, se logran resultados aceptables a partir de lo que los modeladores llaman “errores de compensación”. Según esta autora, una simulación puede resultar correcta, pero por una o varias razones equivocadas. En esta clase de modelos interviene una gran cantidad de mecanismos físicos y computacionales que van desde el diseño, la construcción y la configuración de un sistema de computadoras, aisladas o unidas en un grupo o racimo (arreglo tipo clúster), hasta la arquitectura de los programas que corren en ellas. Esto posibilita un alto desempeño, logrando simulaciones de gran resolución, aunque de difícil validación. En este sentido, dada la complejidad de los fenómenos considerados, los investigadores tratan de determinar qué parámetros influyen sobre qué resultados y cómo lo hacen. Pese a que estas simulaciones son altamente susceptibles a las condiciones iniciales, el mismo modelo es también objeto de estudio.

Una característica interesante de las simulaciones cosmológicas es que no suelen ser evaluadas en términos generales, es decir, sólo a la luz del modelo estándar, canónico o concordante. Sino en cambio, lo que se pretende validar es la capacidad de las mismas a la hora de explicar diferentes propiedades de objetos y procesos astrofísicos específicos. Así, las evaluaciones son llevadas a cabo en sus respectivas dimensiones espaciales y temporales en cada nivel del modelo, o sea, pueden referirse a aspectos de la estructura del universo a gran escala, como así también a la forma de los halos que envuelven las galaxias que lo conforman. Según Guillemot, cada tipo de validación dependerá en última instancia del propósito con que es usado el modelo. Sin embargo, ella afirma que no hay un protocolo sistemático en la evaluación de los mismos, sólo basta con imaginar un procedimiento adecuado para confrontarlos con los datos disponibles. Como se mencionó anteriormente, esta autora identifica dos clases de validación: *top-down* y *bottom-up*. La primera consiste en comparar las simulaciones con bases de datos observacionales. Al ser inicialmente validados, estos modelos computacionales son capaces de reproducir las mismas propiedades físicas medidas con los instrumentos tradicionales. La segunda estrategia es empleada para seleccionar

y ajustar parámetros en contraste con las observaciones disponibles. La cuestión central aquí es que los modeladores deben identificar las variables pertinentes al fenómeno bajo investigación. De esta manera, la selección permite no sólo analizar los datos observacionales, sino también los simulados. Guillemot sostiene que la parametrización constituye un método de evaluación que permite la comparación entre modelos contruidos a partir de los mismos criterios. Los investigadores restringen el espacio de parametrización de los experimentos numéricos a fin de abordar sólo aquellos comparables con la observación. Un aspecto importante de la evaluación *bottom-up* es que permite manipular datos observacionales y datos simulados, de tal forma que pueda reconstruirse y completarse la historia de los procesos físicos bajo estudio con información relevante. De esta forma, se hacen evidentes correlaciones que habían permanecido ocultas anteriormente. Como se notará a continuación, estas prácticas de validación reflejan diferencias sutiles tanto en el valor de las constantes medidas y de las observaciones de base, como en los criterios que subyacen en los modelos estándares y alternativos de la cosmología actual.

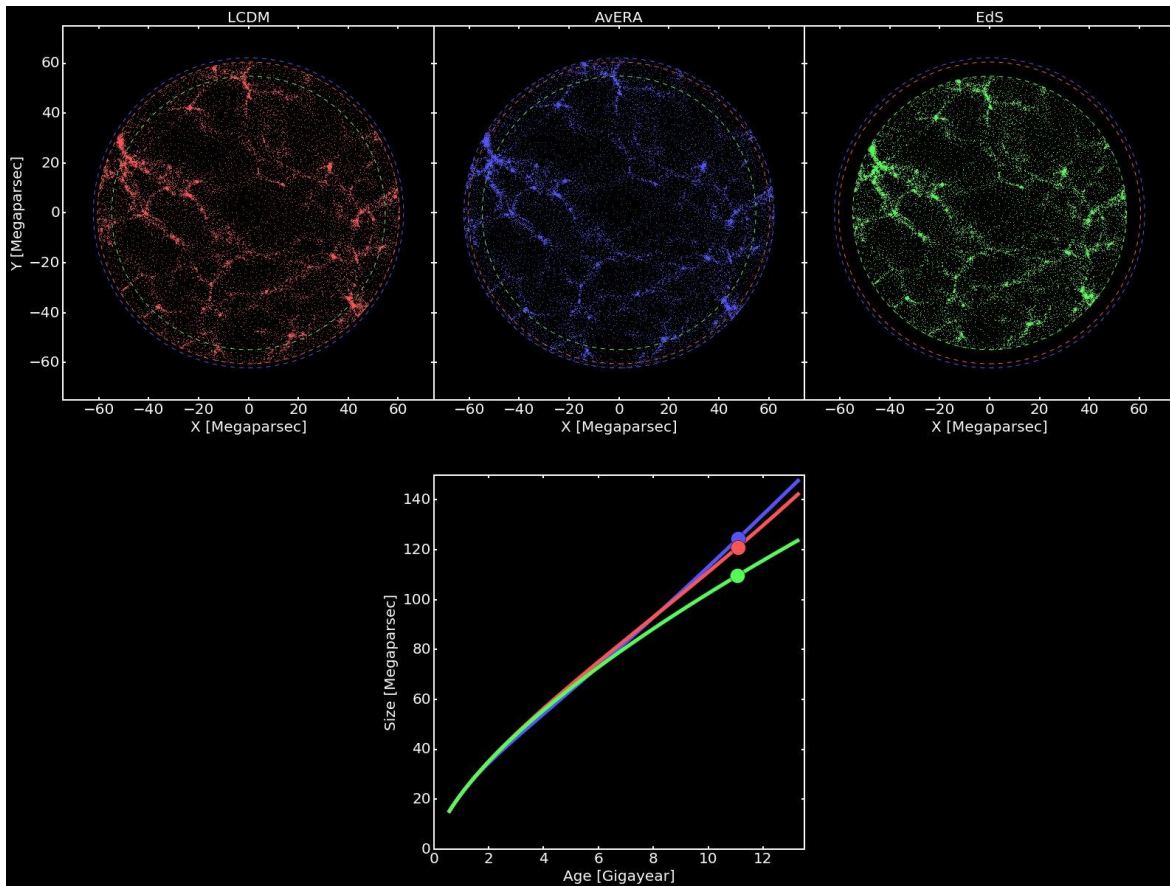
III.8 Validación de modelos cosmológicos

El modelo cosmológico estándar (conformado de materia oscura fría, por sus componentes más abundantes) concibe que el universo a gran escala es homogéneo e isótropo. Las simulaciones cosmológicas tradicionales utilizan, para calcular la evolución de la expansión del universo, el valor promedio de su densidad de materia global. Sin embargo, la presencia y el crecimiento de estructuras, tales como cúmulos de galaxias, filamentos y vacíos cósmicos observados, violan manifiestamente la homogeneidad asumida. Es algo bien conocido e intensamente debatido desde hace tiempo, dada la naturaleza no lineal de las ecuaciones de Einstein, que estas inhomogeneidades locales influyen sobre la tasa de expansión (Green and Wald, 2016; Buchert 2015; Wiltshire, 2011). No obstante, considerando el éxito predictivo y el poder explicativo del modelo homogéneo Λ CDM se acepta, tácitamente, que los efectos de las inhomogeneidades observadas son débiles y por ende despreciables. La gran aceptación de este modelo canónico se debe a su concordancia con numerosas

observaciones cosmológicas tales como: funciones de correlación y espectro de potencias de las estructuras observadas, abundancias de las mismas y su desarrollo, incluyendo los lineamientos generales de la evolución de las galaxias y sus propiedades, entre otras.

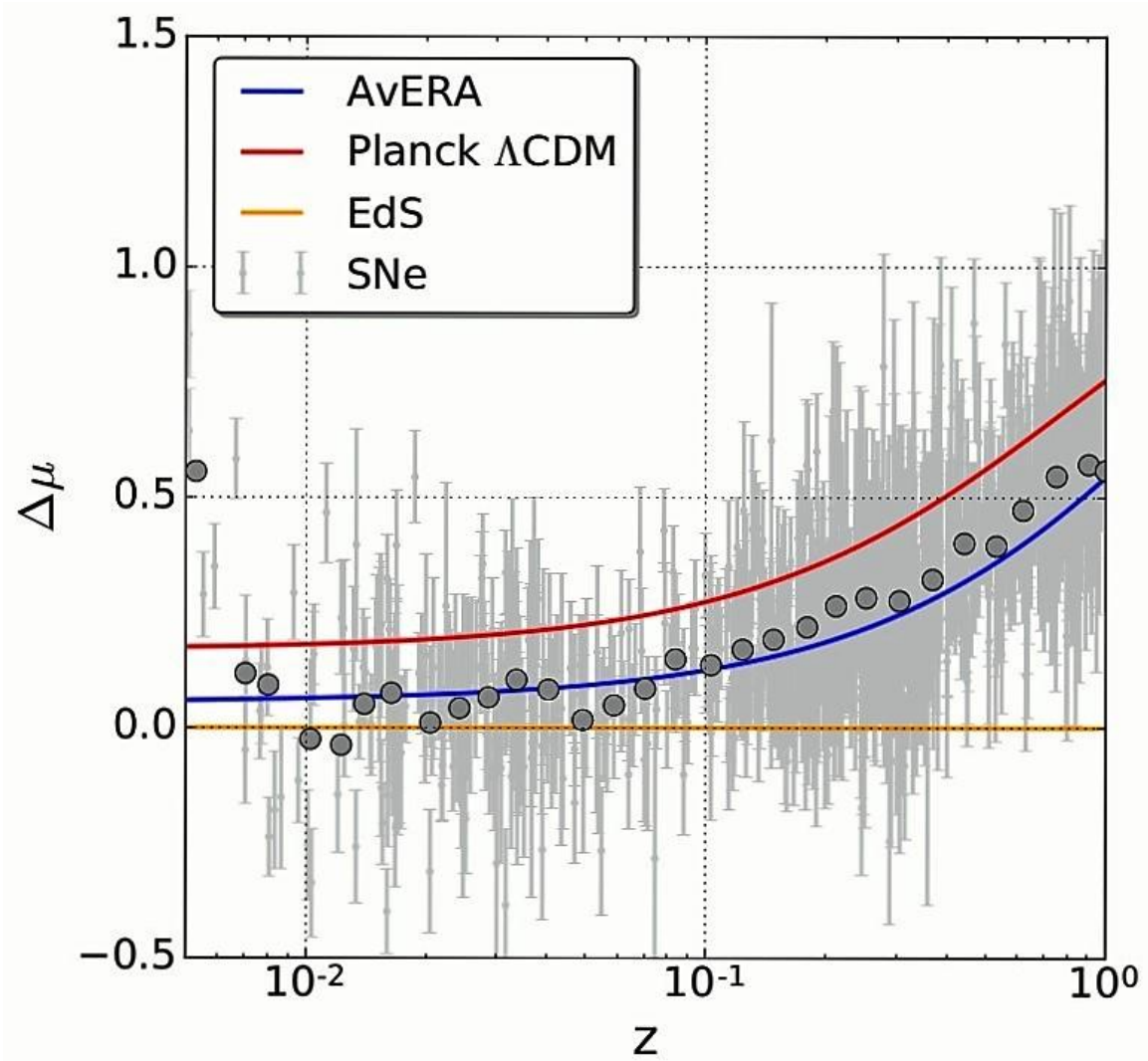
El problema surge al intentar realizar un modelo numérico consistente con las ecuaciones de la relatividad de Einstein, ya que el espacio-tiempo debe reaccionar a la presencia de las estructuras mencionadas que se forman en el transcurso de la misma simulación. Esto provoca que el mismo espacio-tiempo se torne intratable e incluso que el proceso de promediado se vuelva no trivial (Boero, 2017). No obstante, existen numerosos intentos de efectuar dichos cálculos, los cuales dependen, bajo ciertos criterios, de la introducción de escalas donde se realizan los promedios espacialmente. En particular, investigaciones recientes presentan un método alternativo que emplea las técnicas más aceptadas de las simulaciones de N cuerpos (Efstathiou et al, 1985; Kratsov et al., 1997; Aarseth, 2003). Estas prácticas, bien conocidas, permiten computar las tasas de expansión del universo local en función de promedios esféricos, redimensionando luego las fuerzas y velocidades allí presentes. Así, el modelo de simulación alternativo (AvERA), de Rácz et al. (2017), reproduce los resultados alcanzados por aquellas simulaciones que consideran un modelo cosmológico estándar, con condiciones iniciales similares, pero sin asumir un valor uniforme de la densidad de materia y, por consiguiente, de la constante de expansión. En contraposición con las simulaciones convencionales, las cuales descansan en aproximaciones que ignoran la influencia de la estructura del universo en su expansión, este modelo se logra sin la presencia de una constante cosmológica.

A diferencia del estándar, el modelo alternativo toma en cuenta aspectos estructurales, simulando variadas regiones del universo que se expanden a distintas tasas. La expansión diferencial es originada por la formación de estructuras complejas de materia; mientras que en los modelos tradicionales la expansión acelerada es causada por la presencia de la, metafóricamente llamada, “energía oscura”. Debido a la similitud histórica en la expansión de tales modelos, es imposible distinguirlos mediante simples pruebas cosmológicas geométricas como el tamaño, la abundancia o la luminosidad de los objetos involucrados.



[FIG. III.5] EL MODELO Λ CDM (EN ROJO) Y EL MODELO ALTERNATIVO -CON- (EN AZUL) y -SIN- (EN VERDE) EL EFECTO DE LAS INHOMOGENEIDADES INTRODUCIDAS.

La interpretación estándar de las observaciones actuales de las supernovas tipo Ia es que el universo se expande de forma acelerada. Sin embargo, las mismas observaciones pueden ser explicadas por el modelo alternativo, carente de esta energía exótica. En otras palabras, las mismas observaciones validan tanto los resultados de las simulaciones basadas en un modelo tradicional, como así también los datos simulados obtenidos del modelo alterno.

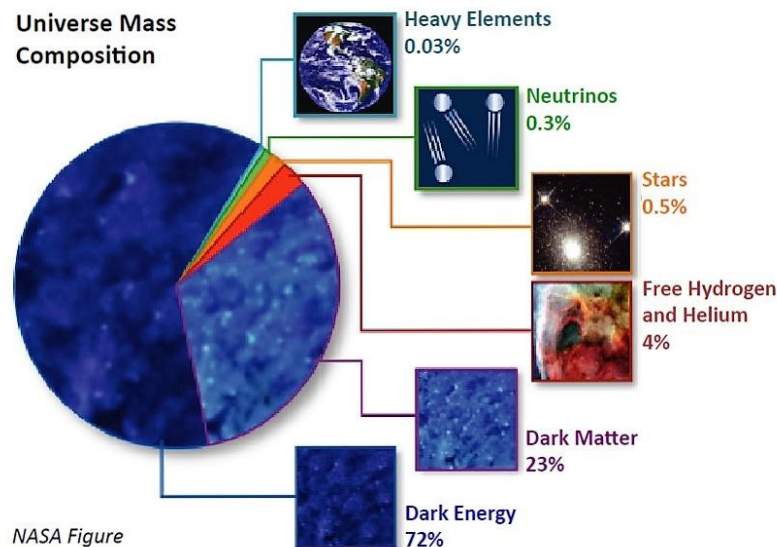


[FIG. III.6] CONTRASTE ENTRE LAS OBSERVACIONES DE SUPERNOVAS (IA) Y LAS CURVAS CORRESPONDIENTES AL MODELO ESTÁNDAR (ROJO), AL MODELO ALTERNATIVO (AZUL) Y A UN UNIVERSO PLANO (NARANJA).

Cabe destacar que, más allá de las diferencias conceptuales, un universo del tipo Einstein – de Sitter, a diferencia del modelo cosmológico estándar, acepta dentro de sus condiciones iniciales un valor de la constante de Hubble local (H_0) más bajo del observado. No obstante, este modelo es más acorde al valor del parámetro de Hubble (H) obtenido a través de las observaciones de la radiación de fondo de microondas (CMB), más precisamente, de las fluctuaciones de temperatura del universo primitivo. Ambos modelos son radicalmente diferentes. En el alternativo, se prescinde

absolutamente de la energía oscura como una componente dominante, la cual sí lo es en el modelo estándar. Los dos modelos de universo presentan finales muy diferentes: el tradicional muestra una expansión acelerada que termina aislando los sistemas colapsados entre sí, mientras que el alternativo exhibe una expansión desacelerada que termina en un universo estático en tiempo infinito.

Como se mencionó antes, los resultados arrojados por ambas simulaciones son semejantes en términos de escalas en función del tiempo. Aun así, el análisis de los datos simulados requiere, en cada caso, de interpretaciones estadísticas distintas. Ello se debe a la peculiaridad de los supuestos cosmológicos subyacentes en cada modelo. Por un lado, los resultados del modelo estándar han sido extensivamente contrastados con toda la evidencia observacional disponible. Por el otro, diversos autores (Domínguez & Ruíz, 2011) han llegado a conclusiones similares a las presentadas en la reciente investigación sobre un modelo cosmológico alternativo (Rácz et al, 2017). Aunque posee cierto atractivo heurístico, la implementación de este último modelo requiere el desarrollo de nuevas técnicas computacionales. Con ello y a fin de no imponer simplificaciones como la homogeneidad espacial, las ecuaciones de Einstein podrían resolverse de modo consistente, en un contexto cosmológico. Quizás, de este modo, los misterios sobre la composición del “sector oscuro” del universo sean resueltos.



[FIG. III.7] PORCENTAJES DE LAS COMPONENTES VISIBLES Y OSCURAS DEL UNIVERSO.

Las observaciones juegan un rol crucial en los diversos enfoques y prácticas de validación de simulaciones cosmológicas. Aunque no exista un protocolo para evaluar dichos modelos, no cabe ninguna duda de la importancia de establecer vínculos con las bases de datos disponibles. Pueden emplearse diferentes estrategias, ya sea impregnando inicialmente estos modelos con observaciones y/o seleccionando y ajustando los parámetros conforme a los requerimientos epistémicos de cada modelo de universo. En esta dirección, resulta imprescindible transferir, de forma más o menos directa, contenido empírico al momento de realizar un contraste efectivo entre los resultados obtenidos por tales simulaciones y aquéllos alcanzados por la vía tradicional.

Guillemot menciona los errores de compensación y sostiene que una simulación puede ser correcta, pero por una o varias razones equivocadas. Ello significa que una hipótesis errónea, asociada a una representación imprecisa del modelo, genera datos concordantes con las observaciones. En consecuencia, es factible que modelos distintos conlleven a resultados simulados semejantes, los cuales son validados al compararlos con los datos observacionales. Más allá de que estos últimos puedan ser interpretados bajo los supuestos equivocados del modelo, lo que conduciría al bien conocido problema de la vieja evidencia (Hudson, 2014), son extensamente admitidos como el punto de partida de cualquier validación posible.

Como se sostuvo antes, bajo la suposición de que los modelos de simulación son herramientas insustituibles, deben ser considerados instrumentos de observación. Esto implica que los datos simulados poseen el mismo estatus que los datos observacionales. A diferencia de la propuesta de Guillemot, la cual afirma que las parametrizaciones permiten validar verticalmente modelos globales, a partir de otros más específicos, aquí se sostiene que las validaciones de este tipo son logradas horizontalmente entre los modelos numéricos en cosmología. En particular, contrariamente al modelo alternativo, el modelo Λ CDM es ampliamente aceptado y validado por numerosas observaciones. No obstante, la evolución mostrada por este último es comparable a las estructuras desarrolladas por el modelo AvERA. Dado que las parametrizaciones se hallan sujetas a las hipótesis de cada modelo, esta contrastación los hace indistinguibles. Ello sugiere el uso de mecanismos inferenciales

abductivos e indica que la relación costo-beneficio se defina entre el éxito explicativo y predictivo y la necesidad de crear entidades extrañas.

Capítulo IV. Conceptos de observación

IV.1 Repensando a Hacking: las representaciones y la naturaleza

La mayoría de los filósofos de la ciencia, al contemplar las relaciones y conexiones existentes entre las teorías científicas y la naturaleza física suelen caer, según Hacking (1983), en algún tipo de *idealismo*. Él afirma que éste se da cuando se considera que el conocimiento científico es sólo una representación del mundo físico. De esta manera, se tiende a reflexionar si cabe alguna posibilidad de autonomía o independencia de las representaciones con respecto al mundo “verdadero”. Esto implicaría saber precisamente si existe una separación tajante entre la teoría y la observación, es decir, entre lo que podría considerarse real mediante la observación y aquello que podría considerarse ideal mediante la teoría que lo representa. No obstante, cuando se habla de que la observación está cargada de teoría se descarta cualquier posibilidad de establecer una distinción precisa. Así, Hacking argumenta a favor de un conocimiento como una representación del mundo, pero en un sentido más amplio. Esto significa dejar de lado la persecución obstinada de una representación solamente teórica de la naturaleza; ya que de esta forma se vuelve a caer en algún tipo de idealismo. Podría interpretarse que él acepta un conocimiento representativo que apuesta y da lugar a la acción, como a la intervención y a la experimentación, en el mundo físico.

En relación con el origen de las ideas, elaboradas por la mente humana, de representación y de realidad, los filósofos se percatan que puede haber más verdad en una fantasía mental que en un modelo construido por la ciencia cognitiva. Así, puede pensarse que la misma realidad es una elaboración de algún hecho pertinente a los seres humanos, es decir, a un hecho antropológico. Según Hacking, los seres humanos son representantes (*homo depictor*), lo cual significa que hacen representaciones no privadas sino públicas y externas del mundo físico. De esta manera, esta antropología filosófica permite afirmar que los seres humanos elaboran representaciones visuales y no visuales de la naturaleza. Así, una pintura o un retrato como una teoría científica o el mismo lenguaje ordinario son representaciones. En este sentido, la realidad es una invención antropomórfica debido a que es la segunda cosa creada por los seres

humanos. Según Hacking, las primeras cosas inventadas son las representaciones; a partir de las cuales y luego de una cierta práctica viene dado un concepto (de segundo orden) el cual se refiere a la realidad. Este último concepto sólo posee contenido cuando existen representaciones de primer orden. Él afirma que puede pensarse que la realidad estaba mucho antes del primer lenguaje o medio representativo. No obstante, no había manera de poder caracterizar, mediante una representación, la realidad. Posteriormente al desarrollo de estas prácticas representativas surgieron los juicios con respecto a saber cuál representación se adecua mejor al mundo, es decir, si son más fidedignas o no con respecto a éste. De esta manera, la naturaleza se encuentra en un segundo plano y la misma depende de la conceptualización de lo que es o no verdadero como una propiedad inherente a las representaciones.

Por otro lado, otro de los atributos de las representaciones es que poseen semejanzas en relación con lo que representan. Esto implica que todas las representaciones producidas por los seres humanos son similares a lo que pretenden representar. Tales nociones de similitudes como de realidad dependen, según Hacking, de las prácticas de representación alcanzadas por una determinada cultura. Aunque las obras artísticas como formas de representación visual son productos que suelen corresponderse con los objetos de la imaginación, ellas poseen en esencia similitud. Esto significa que la similitud no es una relación sino más bien produce los términos de ésta; es decir, antes de una cierta relación con respecto a algún objeto hay similitud con anterioridad. Así, luego de una representación se halla lo real, o sea, una elaboración de conceptos a partir de los cuales es posible describir el mundo que se contempla. En este sentido, puede entenderse que la “realidad” es un atributo de la representación. De esta manera, las nuevas teorías científicas son nuevas representaciones que pueden mostrar realidades completamente diferentes. Por otro lado, la “apariencia” de los objetos observados es un concepto puramente filosófico que se impone entre la representación y la realidad. En este sentido, Hacking argumenta en contra de la filosofía de John Locke:

“Por el contrario, hacemos representaciones públicas, nos formamos el concepto de la realidad, y conforme los sistemas de representación se multiplican, nos volvemos escépticos y nos formamos la idea de una mera apariencia.” (Hacking, 1983, p. 169).

De todas maneras, tanto el antirrealismo como el realismo científico son doctrinas filosóficas que se hallan completamente constituidas cuando hay criterios para saber precisamente si la constitución interna de los objetos observados se corresponde o no con la representación de los mismos. No obstante, la representación de un mismo objeto puede cambiar; lo cual significa que este puede ser representado de varias formas. Así, el objeto de la metafísica como disciplina filosófica consiste en establecer los criterios de la realidad; lo cual implica distinguir entre los diversos sistemas posibles de representación del mundo físico. Por otro lado, las diferentes formas de representar el conocimiento científico hacen que la ciencia produzca criterios los cuales sirven para juzgar cuándo una representación es correcta. Tales criterios de simplicidad, predicción, consistencia interna; etc. permiten determinar si una u otra teoría es un modo de representación adecuado. Esto no significa que un sistema de representación sea verdadero o falso, sino que existen algunos sistemas que son mejores que otros. Es sabido que el método hipotético deductivo se mantuvo durante un gran período de tiempo en la ciencia de principios del siglo pasado. Así, las doctrinas que promulgaban este método proponían hipótesis para deducir determinadas consecuencias las cuales eran eventualmente chequeadas en el mundo y de esta forma ponderar entre ellas. Sin embargo, es sabido también que en tiempos más recientes ciertas doctrinas filosóficas proponen que la ciencia no es hipotético-deductiva. Por lo tanto, en este sentido, no existen criterios para poder determinar cuál es la mejor representación del mundo; sólo existen muchas representaciones, algunas más aproximadas que otras.

IV.2 De la representación a la intervención

Según Hacking, las diferentes nociones de realidad se producen a partir de las habilidades que poseen los seres humanos para cambiar el mundo. Así, es posible clasificar dos tipos de realidades diferentes. Por un lado, se halla la realidad propia de

la representación. Por el otro, se encuentra la realidad que se vincula con todo aquello que produce un cierto efecto, el cual puede ser causado por los observadores al momento de intervenir en la naturaleza o a la inversa. De esta manera, él afirma lo siguiente:

“Consideremos real lo que podemos usar para intervenir en el mundo para afectar algo más, o lo que el mundo puede usar para afectarnos. La realidad como intervención no empieza a mezclarse con la realidad como representación hasta la ciencia moderna. La ciencia natural desde el siglo XVII ha sido la aventura del entrelazamiento de la representación y de la intervención.” (Hacking, 1983, p. 174)

Los experimentos y los adelantos tecnológicos tuvieron, a partir del siglo XVII, un rol importante en el desarrollo del conocimiento en la ciencia de esa época. Así, cuando el método experimental se mostró como un sendero confiable fue tomado como sinónimo del método científico. En este sentido, Francis Bacon fue uno de los primeros filósofos del renacimiento que propuso no sólo observar la naturaleza, sino que se debería “torcerle la cola al león”, es decir, manipular e interceder en el mundo para así poder conocer sus misterios. A partir del desarrollo de nuevas instituciones científicas, tales como la *Royal Society de Londres*, se diseminó por toda Europa un medio de comunicación el cual tiene una alta vigencia en la actualidad. De esta manera, las primeras revistas científicas, como la *Philosophical Transactions*, tuvieron lugar. Así, los numerosos trabajos de reconocidos científicos se hallaban impresos en los grandes volúmenes de esta revista; encontrándose al alcance de toda la comunidad científica de ese entonces. Por otro lado, las publicaciones presentadas en estos nuevos medios de comunicación se hallaban impregnadas tanto de teoría como de observaciones y crónicas de experimentos realizados. De esta manera, Hacking hace hincapié en el papel que deben tener tanto la historia como la filosofía de la ciencia. Estas no sólo deben escribirse como una historia o filosofía de la teoría, sino que deben considerar el importante rol de la experimentación, ya que esta última posee una “vida propia”.

En este sentido, el papel de los experimentos resulta ser algo inherente a la práctica científica. Esta es, obviamente, la gran distinción entre el teórico y el experimentador. Aunque exista una cierta preferencia en muchos hechos históricos de

la teoría sobre el experimento, resulta evidente que la experimentación hace al crecimiento del conocimiento científico. Según Hacking, diferentes metodologías parecen asignar valores distintos al experimento; tal es el caso cuando se elige una metodología inductiva o bien una hipotético-deductiva. Por un lado, la inducción se basa directamente en la observación, el experimento y la analogía. Así, mediante una observación rigurosa es posible que los hechos se impriman claramente en la mente del observador. Luego, estableciendo una analogía se logra conectar y vincular los hechos observados similares. De esta manera, mediante los experimentos es posible descubrir otros hechos también observables en la naturaleza. Esto implica que la observación conduce a la analogía que conlleva a la experimentación y a partir de la cual se hace verdadera dicha analogía.

Por otro lado, podría pensarse que de ninguna manera los experimentos pueden ser anteriores a la teoría. Esto implica dos posibles argumentos. En primer lugar, una versión débil afirma que deben poseerse algunas ideas previas acerca de los objetos de estudio y de los instrumentos utilizados para la observación de los mismos. Por lo tanto, para que un experimento tenga sentido debe tenerse este conocimiento previo ya que una intervención en la naturaleza desprovista de objetivos y de interpretación no conduce a ningún lado. En segundo lugar, una versión fuerte menciona que un experimento tiene sentido cuando existe una teoría que considere y represente efectivamente los fenómenos contemplados. Sin embargo, un experimento puede seguirse por curiosidad para alcanzar un resultado completamente inesperado. De todas maneras, un experimento es una herramienta que ayuda al científico a razonar correctamente, sin importar qué metodología se utilice. Resulta necesario saber si una conjetura debe ponerse a prueba para definir el significado y el sentido de un experimento. Aparentemente, según Hacking, esto sería falso. De esta forma, y al momento de indagar sobre qué antecede a qué, las relaciones entre la teoría y el experimento son diversas y pueden depender de una ciencia natural a otra. No obstante, la fuerte influencia de posiciones epistemológicas como las de Popper aseveran que tanto las observaciones como sus propios enunciados y también los mismos resultados experimentales son meras *interpretaciones a la luz de las teorías*. Sin embargo, Hacking argumenta en contra de esta postura dando un claro ejemplo en

relación al descubrimiento de la doble refracción en la óptica de finales del siglo XVIII, donde las observaciones preceden a cualquier formulación teórica.

En este sentido, en numerosos hechos históricos de la ciencia puede notarse que las observaciones “sorprendentes” o dignas de atención estimularon el crecimiento y el desarrollo de nuevas teorías. Esto conduce a pensar, de alguna forma, que tales observaciones pueden anteceder a la teoría. Esto último no implica necesariamente que ocurra lo mismo con la experimentación. Según Hacking, los experimentos no dependen absolutamente de la teoría, lo que significa que la independencia del trabajo experimental es relativa. De esta manera, existen experimentos que la teoría genera en su totalidad. También, muchas teorías importantes surgen a partir de experimentos que la preceden, como así también muchas teorías no son significativas dada las limitaciones tecnológicas con el mundo físico. Sin embargo, existen además ciertos “encuentros felices” entre las teorías y los experimentos. Esto significa que, en tales confluencias, la teoría y el experimento provienen de diferentes direcciones. En este sentido, Hacking menciona como ejemplo el descubrimiento de la radiación cósmica de fondo por Penzias y Wilson. Aunque las primeras observaciones de radiofuentes ubicadas en el centro de la vía láctea fueron realizadas en 1930, recién en 1965 se detectó una energía residual que se hallaba distribuida de manera aparentemente uniforme en el espacio. Hasta ese momento no existía una explicación convincente del fenómeno observado. Sin embargo, paralelamente y sin conexión con el trabajo experimental, un grupo de teóricos de la Universidad de Princeton sugirió que, si el universo se había originado a partir de una gran explosión, esta última podía ser detectada en el rango electromagnético de las ondas de radio. Además, dicha teoría cosmológica predecía que la temperatura del universo debería ser uniforme (unos 3° K sobre el cero absoluto, aproximadamente). Esto marcaba una notable concordancia con las observaciones realizadas con el radiotelescopio (antena de Holmdel) de los laboratorios Bell. De esta manera, tal descubrimiento fue el primer indicio que arrojó evidencia contundente, consagrando a la teoría del *Big Bang* como la cosmología física más aceptada.

Hacking afirma que, aunque se piense que en la astronomía sólo se observa y se contempla, el trabajo de Penzias y Wilson es comparable con el trabajo experimental de

un físico en un laboratorio. Es cierto que no existe una intervención directa con los objetos astronómicos, sin embargo, hay una intervención y manipulación constante sobre los instrumentos y piezas de equipos al momento de realizar una observación astronómica. De esta manera, Hacking sugiere que este encuentro feliz es precisamente la intersección entre la teoría y la observación “hábil”, la cual implica acción e intervención sobre los aparatos y no sólo la contemplación sobre los objetos astrofísicos. Por otro lado, otro aspecto importante en torno a la experimentación se debe a las invenciones que surgen a partir de ciertos desarrollos teóricos y adelantos tecnológicos en la resolución de problemas prácticos. Así, la motivación en el desarrollo de nuevas tecnologías puede deberse a la elaboración de una teoría seguida de su experimento que puede aplicarse a determinados problemas cotidianos. También, esta motivación puede surgir del propio ritmo de la práctica experimental donde la teoría se deduce indirectamente. Hacking ejemplifica esto último con la gran cantidad de trabajo experimental necesario para la invención de la máquina de vapor, resaltando cómo dicho trabajo contribuyó notablemente al desarrollo de la termodinámica teórica.

IV.3 La observación rigurosa y la observación controlada

La experiencia observacional es crucial a la hora de determinar si un enunciado es o no factual. Así, un proceso de observación del tipo estímulo-respuesta puede sugerir que dos enunciados factuales (una determinada afirmación y su negación, por ejemplo) puedan ser contrastados observacionalmente de manera que: o bien un enunciado o el otro resulta corroborado. En la mayoría de las situaciones experimentales, el informe dado a partir de las sensaciones de un observador es de crucial importancia. De esta manera, los circuitos neuro-sensoriales del observador deben ser normales para que éste pueda determinar cuáles enunciados factuales son adecuados con la experiencia. No obstante, se requiere más que una visión normal para poder determinar la veracidad de ciertas afirmaciones. Esto implica que por más que los receptores de señales ópticas sean eficientes y exactos no proporcionan lo necesario para poder realizar una determinada observación de un cierto fenómeno físico complejo. Así, Hanson (1977a) afirma que debe presuponerse un cierto conocimiento y es por ello que toda la

observación científica se encuentra “cargada de teoría”. Obviamente que esto significa que un niño o un animal, por más que posean habilidades fotosensibles y una percepción notable, no realizan observaciones científicas. Por otro lado, Hanson propone que los instrumentos de observación como los telescopios pueden ser tomados como “extensiones” de nuestros sentidos, lo cual también significa que tales instrumentos *per se* no son capaces de dar sentido a los enunciados observacionales. La tarea de dar significado a esto último requiere de conocimiento y de teoría. En este sentido, la forma conceptual de las teorías científicas puede determinar dónde deben limpiarse las observaciones. Esto último quiere decir que para una buena comprensión de los fenómenos naturales se deben tener en cuenta tanto las desviaciones como los márgenes de error y demás efectos laterales que escapan de las idealizaciones teóricas. Según Hanson, todos estos sobresaltos naturales propios de la observación científica deben “suavizarse” para poder tratarse y ser incluidos finalmente en el *corpus* de cualquier disciplina científica. Así, según él:

“...las observaciones significativas de una ciencia son aquellas que cumplen los criterios de relevancia incorporados a la teoría vigente y, al mismo tiempo, son capaces de modificar esa teoría mediante el riguroso e inquebrantable reconocimiento de “lo que es el caso”, de los hechos. La ciencia no fabrica los hechos, por mucho que pueda darles forma, color y orden.”
(Hanson, 1977a, p. 16)

Según Hanson, a diferencia de las observaciones, los hechos no son objetos, procesos ni acontecimientos, son sólo lo que afirman ciertos enunciados verdaderos. Esto implica que un enunciado observacional puede ser verdadero o falso, es decir, puede describir un cierto objeto del mundo físico y así afirmar o negar un determinado hecho sobre tal objeto. De esta manera, los hechos se corresponden con ciertas construcciones lingüísticas o lógicas que se utilizan para afirmar a los mismos. Por ejemplo: si un enunciado *E* afirma que *x*, *y*, y *z*. Luego, si *E* es verdadero, entonces, el *hecho* debe ser que *x*, *y*, y *z*. De esta manera, mediante la observación o la experimentación, puede verificarse lo que el enunciado afirma como verdad. En este sentido, la contrastación de las hipótesis puede llevarse a cabo mediante la consideración de ciertos hechos que son acontecimientos y estados de cosas de una

determinada disciplina científica. De esta manera, Hanson afirma que los hechos científicos son los responsables de hacer verdaderas a las teorías y por esta razón pueden ser considerados como las afirmaciones de ciertos enunciados cuando son verdaderos. En este sentido, los hechos surgen como las posibles maneras en que la naturaleza puede ser descrita en un determinado lenguaje.

Por otro lado, es sabido que los instrumentos de medición registran y recogen, según Hanson, de manera objetiva las propiedades que poseen y se manifiestan en determinados objetos y procesos naturales. Él además sostiene que las técnicas necesarias para establecer una medición se hallan impregnadas de diversas teorías físicas, las cuales se encuentran insertas en la misma medición. De esta manera:

“La información que nuestros instrumentos nos transmiten es la que es porque tales disciplinas son el vehículo de la interpretación de las deflexiones de las agujas, la intensidad de señales y los clicks de los contadores. En esta medida, existe una penetrante interacción entre tales acontecimientos y nuestras teorías de la técnica de medición. Aquellos números que emerjan de los esfuerzos de medición pueden ser el resultado, no de un registro simple y objetivo de los datos, sino de un enmarañamiento más intrincado de la materia, la sonda y la teoría.” (Hanson, 1977a, pp. 21-22)

Desde una perspectiva experimental, la observación controlada es la verdadera fuente para que este tipo de conocimiento científico pueda desarrollarse. En este sentido, el trabajo experimental requiere de una cuidadosa precisión y detalle en las mediciones obtenidas. Estos últimos aspectos son en definitiva los criterios necesarios para controlar las observaciones y señalar una posible dirección correcta en el trabajo experimental. Así, las especulaciones teóricas, hipótesis y conjeturas erróneas serán descartadas después de ser contrastadas experimentalmente. Por un lado, la preeminencia de la experimentación podría hallarse al finalizar el trabajo teórico. Esto sugiere que una teoría puede predecir algún hecho que luego será corroborado por el experimentador; ello significa que este último se guía bajo ciertas consideraciones necesarias para la comprensión y el entendimiento de lo que pretende demostrar. Desde este punto de vista el experimento se encuentra cargado de teoría, el cual es guiado teóricamente hacia la teoría. Por otro lado, podría pensarse que la teoría es un

producto de la experimentación y en este sentido el teórico tratará de observar por encima de los datos con el fin de buscar algo más que lo presentado experimentalmente. Esta posición exige que no se propague la teorización desenfundada, estableciendo un anclaje de la imaginación creativa a los datos, a los hechos y a las pruebas experimentales.

Según Hanson, encontrar algo exige de alguna manera saber dónde buscar, lo cual significa que lo primero es una función de lo segundo. Por lo tanto, los descubrimientos experimentales son una función de las diversas estrategias teóricas. La historia de la ciencia muestra un vastísimo número de casos que avalan tanto la posición de que las teorías dirigen los experimentos como la otra, de que estos últimos generan las teorías. Él concluye así que no hay una respuesta filosófica absoluta que responda a lo que es experimentar. La observación como parte indispensable del trabajo experimental se halla situada en el medio de los experimentos como corroboradores de teorías y como fuentes generadoras de las mismas. De esta manera, las prácticas experimentales suelen ser muy diversas y por esta razón puede ser innecesario tratar de buscar una respuesta final a esta problemática filosófica. Así, Hanson aconseja tratar de explorar cada caso experimental con esta o aquella teoría con el fin de saber precisamente cuál es el rol epistemológico y metodológico de un experimento en particular. Al comprender ciertos aspectos como el diseño de un experimento determinado, se puede esclarecer cómo una teoría en particular puede ser aclarada y definida, o bien, cómo la misma puede relacionarse con otros experimentos de muchas maneras, conceptualmente diferentes.

IV.4 Interpretaciones y patrones: el concepto de observación de Hanson

Si dos científicos observan algún objeto particular en un determinado instrumento, ambos observadores (posiblemente) pueden ver dos cosas completamente distintas. Básicamente, uno de ellos dará cuenta de que lo que observa consiste en las diversas perturbaciones artificiales generadas por el mismo instrumento, o bien, por las circunstancias particulares del entorno observacional. El otro observador se percata objetivamente de alguna entidad propia de la disciplina científica que está investigando.

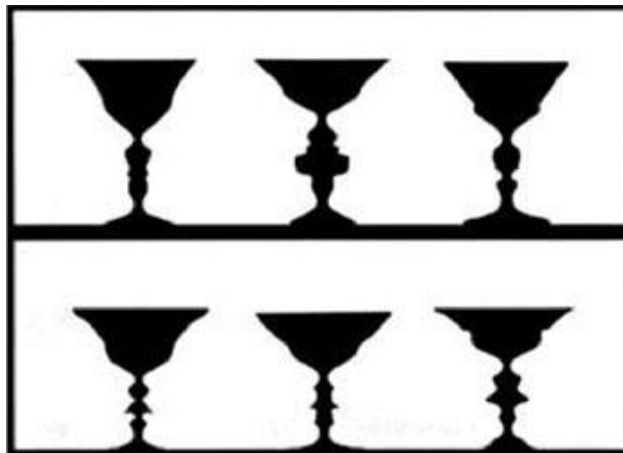
Aunque ambos observadores conocen precisamente las técnicas y sus respectivas aplicaciones para lograr una observación rigurosa, la controversia en la interpretación de lo que se observa puede continuar por bastante tiempo. Resulta claro pensar que las diferentes teorías y técnicas instrumentales ocupan un rol central en esta problemática, pero en principio no es una dificultad experimental, aunque pueda afectar al experimento. Así, el trabajo experimental sigue su curso. En este sentido, Hanson afirma que este problema a lo sumo atañe a lo que dos posibles observadores *dicen* que ven. Una posible razón se debe a que ambos científicos no partieron de los mismos supuestos, condiciones iniciales o datos, pese a que los dos perciban visualmente el mismo objeto y sus vistas sean relativamente normales.

Desde una perspectiva filosófica este problema podría resolverse aludiendo al hecho de que ambos observadores ven la misma cosa y naturalmente realizan la misma observación ya que parten de los mismos datos visuales. No obstante, esto no responde la cuestión de que lo que se observa puede ser interpretado de maneras diferentes. La respuesta a esta controversia se hallaría, posiblemente, al tratar de comprender cómo los datos observables son modelados por las diferentes teorías.

Algunas teorías de la percepción afirman que lo que se manifiesta sobre la retina, en nuestros ojos, actúa como indicadores y señaladores que estimulan a la misma de cierta manera fotoquímica. No obstante, lo que ocurre por detrás de esta son operaciones intelectuales que resultan de los diversos estímulos y cambios producidos en la misma. De esta manera, según Hanson, la visión es una experiencia. Por lo tanto, las cámaras fotográficas, los ojos del observador y los telescopios no pueden observar por sí solos, es decir, son ciegos. Esto implica que para que una observación tenga sentido se requiere de una persona, un sujeto epistémico que dé una cierta interpretación a los datos obtenidos. Así, las experiencias visuales se diferencian radicalmente de los diversos estados físicos que pueden producir cambios en la percepción de la naturaleza.

Si la percepción visual de un mismo objeto implica a lo sumo dos interpretaciones diferentes, entonces, se puede concluir que se observa algo distinto. Esto no quiere decir que se observe un cierto objeto y que *a posteriori* se lo interprete de distintas maneras, sino que observar un objeto se corresponde a una experiencia

propia y relativa a cada sujeto epistémico. Por otro lado, la interpretación es un recurso imprescindible de cada observador. Algunas interpretaciones pueden ser instantáneas (como cuando se vislumbra un objeto lejano) producidas por determinadas inferencias de carácter inconsciente. En este sentido, la interpretación no es estrictamente considerada como inversiones en la perspectiva observacional (dadas en la visualización de un cubo visto de abajo o de arriba, por ejemplo) sino más bien se la relaciona con determinados procesos intelectuales en los cuales intervienen las teorías. Sin embargo, Hanson sostiene que las experiencias visuales de figuras reversibles no siempre requieren de grandes operaciones del intelecto al momento de comprender la recolección visual en la retina.



[FIG. IV.1] REPRESENTACIÓN VISUAL DE SEIS COPAS DIFERENTES, O BIEN, DE SEIS PARES DE ROSTROS SIMÉTRICAMENTE ENFRENTADOS.

Aunque en estos casos no se den interpretaciones complejas, según Hanson, la visión es un estado de la experiencia a diferencia de un estado del pensamiento. Por lo tanto, las diferentes maneras en las que se puede ver un objeto, no se deben a que detrás de los procesos de la visión existan diversos pensamientos que intervengan necesariamente en tales reacciones visuales. En este sentido, según él, al ver o mirar un objeto físico no intervienen pensamientos complejos que interpreten lo que se mira o se ve. Por otro lado, él argumenta que al percibir algún objeto en particular y al caracterizarlo e interpretarlo de formas diferentes, la *imagen* de datos sensoriales que se forma en las retinas de los observadores se *presenta* de igual manera, independientemente de lo que ambos están observando. Por lo tanto, podría pensarse

que la observación, a diferencia de la visión, requiere de una interpretación más compleja. Hanson afirma que el sentido en el cual se ven los objetos empieza a perder interés filosófico debido a que nada óptico o sensorial cambia y sin embargo se pueden observar cosas diferentes. Así, lo que cambia es la manera en que se organiza la visión, la cual puede depender del mismo contexto.

Todos los elementos que se presentan en la visualización, de algún objeto particular, se hallan organizados de una cierta manera. Tal organización es fundamental en la experiencia visual ya que asigna coherencia y armonía a los elementos que se presentan. Así, según Hanson, la organización no se ve de la misma manera en que se perciben los elementos tales como líneas, dibujos, determinadas formas o colores. La misma no se presenta en el campo visual, sino que interviene al momento de comprender los elementos visualizados. Por consiguiente, la organización no es algo que se detecte o registre en la retina, sino que proporciona una estructura o molde en el que encajan ciertas líneas y formas percibidas. También, las experiencias visuales se valen de un contexto o fondo determinado para organizar tales elementos. Muchas veces, este contexto puede arrojar la clave para interpretar y observar correctamente los objetos del mundo físico. No obstante, un mismo objeto puede ser percibido o visto de la misma manera por dos sujetos y sin embargo pueden observar dos cosas completamente diferentes. Hanson se pregunta si estos dos observadores ven la misma cosa y responde lo siguiente:

“Sí y no. Sí, puesto que perciben visualmente el mismo objeto. No, porque las formas en que perciben visualmente son muy diferentes. La visión no es solamente el hecho de tener una experiencia visual; es también la forma en la cual se tiene esta experiencia visual.” (Hanson, 1977b, p. 94)

En este sentido y siguiendo la argumentación de él, puede pensarse que tanto el aprendizaje como la acumulación de conocimiento, respecto del objeto que se ve, sirven y son cruciales para dar diferentes interpretaciones. Sin embargo, aunque esta experiencia sea importante, Hanson sostiene que el conocimiento y la interpretación no son complementos en la visualización de un cierto objeto. Además, él afirma que ver un objeto no implica necesariamente que se infiera la misma cosa a partir de lo que se ve.

Esto significa que ver o mirar un objeto determinado, en el sentido de observarlo o visualizarlo sensorialmente, no implica una única interpretación. No se pretende en este punto caer en un relativismo lingüístico y polisémico de lo que significan y en qué sentido se pueden usar las palabras ver, mirar, observar, detectar; etc. debido a que este tema se tratará más adelante. Por el momento, y a los fines de comprender correctamente la posición y el análisis presentado por Hanson, se entenderá que la interpretación y el conocimiento no son complementos adjuntos al momento de percibir, visualizar, mirar, ver u observar un cierto objeto. Por otra parte, él menciona el hecho de que el contexto o fondo, de lo que se visualiza, puede arrojar ciertas claves, indicadores o patrones y en estos casos no siempre es necesario un conocimiento específico de lo que se observa. Así, simplemente al ver un objeto, las señales o patrones que puedan surgir con ayuda del contexto requieren de una cierta organización de los elementos que se encuentran en el campo visual. No obstante, dicha organización no puede, en la mayoría de los casos, demandar grandes operaciones intelectuales, tales como las imágenes utilizadas en ciertas pruebas o *tests* psicológicos. Por consiguiente, en algunos casos esta organización no depende de un conocimiento específico sino más bien de ciertos factores psicológicos inherentes a cada sujeto. En este sentido, Hanson sostiene que las señales visuales que se reconocen al ver un objeto en un determinado contexto visual no siempre requieren de una gran interpretación. De la misma manera, este reconocimiento de patrones puede darse en una observación científica rigurosa. A propósito de esto último, él escribe lo siguiente:

“El niño y el profano pueden ver; no son ciegos. Pero no pueden ver lo que el físico ve; son ciegos para lo que él ve. Nosotros puede que no apreciemos que un oboe está desafinado, aunque esto será penosamente obvio para un músico experto. (El cual, dicho sea de paso, no oirá los tonos e interpretará que están desafinados, sino simplemente oirá que el oboe está desafinado...)” (Hanson, 1977b, p. 96)

Hanson sostiene que, si ver cosas diferentes implica un conocimiento y un marco de teorías que arrojen ciertas interpretaciones a lo que se está viendo, entonces, cuando varios sujetos ven lo mismo podría decirse que poseen un conocimiento y una teoría común. Según él, esto no puede darse ya que un sujeto experto en una cierta

materia puede ver lo mismo que otro lego en dicha materia, sin compartir un conocimiento común del objeto observado. Esto significa que tanto el experto como el sujeto común, suponiendo que ambos posean vistas normales, son capaces de percibir o captar la misma información visual. Esto se debe a que la imagen que se forma en la retina de ambos es idéntica. En este sentido, él afirma que ambos o más observadores pueden percibir o ver lo mismo, aunque tengan experiencias visuales diferentes. No es lo mismo la visión que la visualización humana.

IV.5 La observación cargada de teoría

Hanson presenta su argumento de la carga teórica de la siguiente manera:

“En cierto sentido, entonces, la visión es una acción que lleva una carga teórica. La observación de x está moldeada por un conocimiento previo de x . El lenguaje o las notaciones usados para expresar lo que conocemos, y sin los cuales habría muy poco para reconocerse como conocimiento, ejercen también influencia sobre las observaciones.” (Hanson, 1977b, p. 99)

Él se propone distinguir el “ver” del “ver como”. Ver un tubo de rayos X no es lo mismo que ver un tubo de metal y de cristal como si fuera un tubo de rayos X. Sin embargo, ver un antílope es algo común y entonces resulta fácil ver un cierto objeto como si fuera un antílope. Esta es justamente la diferencia que radica entre lo que un físico y un lego en la materia pueden ver y observar. Sin embargo, a diferencia del segundo caso, en el primero ambos ven el mismo objeto, pero pueden inferir cosas diferentes. En este sentido, según Hanson, si el análisis de los diferentes usos del “ver como” configura y caracteriza lo que es la visión y por consiguiente lo que es una observación, resulta más claro desde esta perspectiva resaltar la diferencia entre el “ver como” y el “ver que”. Esto significa que este último término establece, de cierta manera, determinadas inferencias en torno a un objeto percibido. Tal es el caso, por ejemplo, cuando se ve un objeto detrás de otro y puede verse *que* si se rodea o circunda a este último el observador logra ubicarse por detrás del primer objeto. En este sentido, la inferencia podría ser considerada como el instrumento lógico que relaciona un hecho

observacional con el conocimiento previo y con el lenguaje que se utiliza para expresarlo. No obstante, el lenguaje específico utilizado en la lectura de los instrumentos de observación puede esclarecer determinadas situaciones experimentales. En dichas situaciones es posible que predomine cierta confusión conceptual, en tanto que un observador no reconozca lo que está intentando ver. Sin embargo, este último logra que sus observaciones permanezcan coherentes con la información previa preestablecida. Según Hanson, esta manera de ver es la meta de toda observación:

“Registrar primero las observaciones y después buscar conocimiento de ellas nos ofrece un modelo simple de cómo la mente y el ojo se adaptan mutuamente. Sin embargo, no es en modo alguno simple la relación que existe entre la visión y el cuerpo de nuestro conocimiento” (Hanson, 1977b, p. 101)

Por otro lado, “ver como” y “ver que” no son elementos psicológicos de la visión, sino que son componentes lógicos propios del lenguaje que se mantiene sobre la misma. Así, afirma Hanson, ver un tubo de rayos X es ver que si se deja caer se destruye por completo. Por lo tanto, “ver que” implica cierto conocimiento dentro de la visión. Dicho conocimiento permite que los sujetos puedan, a diferencia de las cámaras fotográficas, realizar inferencias y así observar los datos obtenidos. Para Hanson, el conocimiento se encuentra en la visión y no es algo que se halla adjunto a la misma. En este sentido, ver un objeto determinado significa *ver que* el mismo se comporta de acuerdo a lo que se conoce de tales objetos. En caso contrario, es decir, que este objeto en particular posea un comportamiento diferente, entonces, no se verá *como* ciertos objetos conocidos sino como uno desconocido. Esto último sugiere que dos sujetos al enfrentarse y ver un mismo objeto pueden inferir cosas distintas. Esto implica que ambos observadores pueden entender cosas completamente diferentes respecto al objeto que están viendo. En este sentido, es sabido que la mente humana no puede percibir directamente la distancia a la cual se hallan los objetos del mundo físico. La misma se infiere de acuerdo a lo que se ve y se conoce de tales objetos. El caso de la *ilusión lunar* es un claro ejemplo de esto último. Dicho fenómeno depende de si la posición de la Luna (o del Sol) se encuentra en las regiones próximas al horizonte o al

cenit (el punto más alto del cielo). Cuando la Luna se halla en el horizonte, parece que su tamaño es más grande a cuando se encuentra a una altura mayor. Es sabido que para poder ver o percibir adecuadamente el tamaño de un objeto, es preciso saber la distancia “real” a la cual se encuentra el mismo. Si ésta se desconoce, la mente humana “calcula” o infiere el tamaño a partir de la información visual captada o percibida, esto es, a partir del ángulo que se forma en la retina del observador. Con el tamaño aparente de esta imagen retinal, la cual es directamente proporcional a la distancia concreta que se encuentra un objeto, es posible hacer una falsa estimación o inferencia de la distancia al comparar la Luna con otros objetos cercanos al horizonte (construcciones edilicias, montañas, árboles, etc.). Así, la distancia de la Luna se subestima al ser comparada con la distancia de otros objetos de referencia próximos. A diferencia de esto último, cuando la Luna se halla a una altura cercana al cenit, la percepción de su tamaño cambia debido a que no es posible compararla con otros objetos que provean de información acerca de la profundidad. En este caso, por falta de experiencia visual, la distancia se sobrestima y la Luna se ve con un tamaño aparentemente menor. Indudablemente, tanto el sujeto cotidiano como el astrónomo experimentado ven lo mismo y perciben el aparente cambio en el tamaño, así como el enrojecimiento y el achatamiento del objeto en cuestión. Sin embargo, un astrónomo posee la capacidad y las herramientas para deducir la distancia e inferir el tamaño “real” de la Luna mediante mediciones angulares. En contraste con lo que afirma Hanson, un astrónomo con sus instrumentos de observación (telescopios, fotómetros; etc.), más el conocimiento previo necesario, puede inferir u observar correctamente tanto la distancia como el tamaño verdadero de la mayoría de los objetos astronómicos.

Según Hanson, la carga teórica que se halla en la visión implica que la interpretación está ahí. Esto no significa, como se mostró antes, que la interpretación es la visión. Para él, la organización visual puede diferir y de esta manera se pueden observar cosas diferentes. La clave de esta organización depende precisamente de lo que los observadores infieren y piensan que conocen. Así, él asevera que:

“...la observación en física no es un encuentro con destellos, sonidos y sacudidas poco familiares e inconexos, sino más bien un encuentro calculado con éstos como destellos,

sonidos y sacudidas de una clase particular; esto podría figurar en una descripción de lo que es la observación. No es seguro, sin embargo, que la observación no pudiera ser de otra manera. En este momento es necesario este tipo de argumentación; con ella se debe establecer que una descripción alternativa sería, no solamente falsa, sino absurda.” (Hanson, 1977b, p. 105)

Hanson se pregunta si la práctica observacional consiste en ver y posteriormente en pensar, o bien, se trata de ambas cosas al mismo tiempo. Él responde que en la observación de una representación visual hay más que factores inherentes a la óptica y al comportamiento fisiológico o fotoquímico de los ojos. Esto sugiere que, aunque la visión sea esencialmente pictórica y el conocimiento puramente lingüístico, ambos son elementos cruciales e imprescindibles en la visión. No obstante, esta diferencia entre las representaciones visuales y los elementos lingüísticos señala, a su vez, las diferencias que existen precisamente entre los rasgos o características ópticas y conceptuales de la visión. Según Hanson, el factor lingüístico posee un rol clave en la visión, aunque no exista nada de dicho factor *en lo que se forma en el ojo o en el ojo de la mente*. Esto significa que, si no existiera tal elemento, la misma observación no tendría ningún significado; es decir, ninguna relevancia en relación con el conocimiento disponible. Así, la observación rigurosa sería insignificante o carente de sentido.

De esta forma, el conocimiento científico implica lo que es expresable, o más bien, lo que es capaz de describirse mediante un cierto lenguaje. Por lo tanto, la fundamentación del lenguaje científico radica en una gran cantidad de enunciados observacionales; los cuales pueden ser verdaderos o falsos. A diferencia de estos, las imágenes no poseen ninguno de estos valores, es decir, no son ni verdaderas ni falsas. Simplemente sirven como contraste de tales enunciados. Hanson asevera que las sensaciones visuales pueden ser expresadas y apreciadas mediante formas lingüísticas, o sea, en términos que lo que se conoce. Según él, lo que cuenta como una observación es precisamente la apreciación de dichas formas y de esta manera el conocimiento del mundo físico no es más que un sistema de proposiciones. En este sentido, Hanson afirma lo siguiente:

“Significado, relevancia. Estas nociones dependen de lo que ya conocemos. Los objetos, los sucesos y las imágenes no son intrínsecamente significantes o relevantes. Si la visión fuera

solamente un proceso óptico-químico, nada de lo que vemos sería relevante para lo que conocemos y nada de lo conocido podría tener significación para lo que vemos. La vida visual sería ininteligible; a la vida intelectual le faltaría un aspecto visual. El hombre sería una computadora ciega acoplada a una placa fotográfica sin cerebro.” (Hanson, 1977b, p. 108)

Otro de los rasgos característicos de las representaciones visuales es que algunas veces se comportan como copias fidedignas del original. Por lo tanto, una fotografía o una cierta figura pictórica, indistinguible o congruente con la “realidad”, representa una copia que muestra elementos de un determinado objeto original. Tales elementos, poseen la misma función y ordenación que en el objeto presentado. Hanson afirma que la copia y el original son del mismo tipo, es decir: si el enunciado es fiel a la naturaleza del objeto presentado, por lo tanto, la situación que describe es la misma que la “real”. De esta manera, la imagen que se presenta refleja o copia las diversas relaciones físicas que se dan entre los objetos de la naturaleza. Por consiguiente, tanto la imagen como lo que se *dice* verbalmente de la misma muestran, verdaderamente, lo que acontece en el mundo. Para él, ambas son copias verdaderas que representan al objeto original. Sin embargo, existen diversas representaciones visuales del tipo pictóricas que pueden copiar con diferentes grados de exactitud. En este sentido, un dibujo no es una copia “exacta” del original como lo puede ser una fotografía. De igual forma, el lenguaje, como medio de representación verbal (no visual), puede copiar menos que esta última. Así, a diferencia de los elementos que se muestran en una representación visual, no todos los elementos de un enunciado o una oración gramatical poseen la misma función representadora.

En suma, Hanson afirma que ver implica una “copia visual” de los objetos percibidos en el mundo físico, sin embargo, es mucho más que eso. De esta forma, la visión puede ser considerada como *ver que si se diera x, se seguiría y*. Este planteamiento sugiere que la visión es algo más que un proceso fisiológico, es decir, requiere además una operación intelectual. En este sentido, los sujetos epistémicos son los que ven, no sus ojos. Pero estas operaciones intelectuales suelen ser, en la mayoría de los casos, procesos inconscientes los cuales arrojan una cierta interpretación de lo observado. La visión cotidiana no está libre de carga teórica y de la misma manera no lo está la observación científica. Ambas se hallan sujetas y dependen del contexto y de

los objetos o elementos que la rodean. Esto sugiere que no es posible separar la observación de la teoría, es decir, no es factible una distinción nítida entre los términos teóricos y los términos observacionales.

Por otra parte, a los propósitos de esta sección, podría extenderse el argumento de Hanson al diferenciarse, en otros términos, la visión cotidiana de la observación científica. Sin volver a la distinción de Sellars (1971) planteada en la introducción, entre una imagen manifiesta del mundo y otra científica, podrían repensarse las diferencias entre el “ver como” y el “ver que” en una dinámica proceso/producto. Básicamente, esto significa la ponderación entre las prácticas de visualización y los tipos de inferencias que se establecen, tales como los esquemas abductivos que se mostrarán más adelante. Siguiendo a Hanson, a diferencia de una observación propiamente dicha, percibir, ver o mirar cualquier objeto común (adquiriendo cierto grado de experticia) no requiere de una alta interpretación, esto es, de una gran intervención intelectual al momento de modelar y de dar significado a los enunciados observacionales. Así, es posible examinar tal distinción en consonancia con el concepto de representación visual, el cual será analizado en detalle en el capítulo siguiente.

De esta manera, las representaciones visuales producidas a partir de diferentes instrumentos y auxiliares de la observación poseen, a grandes rasgos, dos características fundamentales. Por un lado, tanto las figuras de “cambios gestálticos” como las imágenes científicas pueden ser vistas de una sola forma y visualizadas u observadas de muchas otras. Por otro lado, los cambios de representaciones visuales suelen presentar los indicios necesarios que permiten desarrollar la habilidad para el reconocimiento de patrones, tanto visuales como observacionales, los cuales eventualmente conducen a un descubrimiento. Ambas características dependen de si el proceso de elaboración de las representaciones visuales se halla o no influenciado tanto por los modelos de datos, como por aquéllos del fenómeno particular que se observa o se pretende observar. A diferencia de las imágenes cotidianas, las científicamente orientadas están fuertemente supeditadas a tales modelos, aunque en algunos casos no requieran de una profunda operación intelectual, ni tampoco de una gran interpretación. Ello se debe, principalmente, a que pasan a ser del sentido común

del científico, dado por la experiencia adquirida del observador en el contexto experimental.

IV.6 El concepto de observación de Shapere

Desde su publicación original hasta su traducción, abreviación y publicación en castellano, el artículo de Shapere (1989) se transformó en un clásico dentro de la literatura filosófica. Una de las posibles buenas razones se debe a que el autor presenta y establece un análisis epistemológico de lo que es la observación que se adecua y corresponde precisamente con la práctica científica contemporánea. Para lograr esto, él se propone desarrollar un ejemplo que viene dado de la astrofísica estelar. Tal ejemplo plantea la posibilidad de escudriñar y observar directamente, mediante *neutrinos*, los fenómenos y procesos que acontecen en el interior del Sol.

En el principio de su artículo, Shapere hace referencia a una afirmación de un cierto filósofo. Aunque no lo mencione, se está refiriendo a Auguste Comte quien alguna vez afirmó que: *hay una cosa de la cual podemos estar seguros que nunca será observada directamente, y esa es la región central del Sol o, para el caso, la de cualquier estrella*. Esta afirmación es bien conocida tanto en la literatura filosófica como en la astronómica. En esta última suele figurar en algunos textos como una afirmación irónica y muy pretenciosa de algún filósofo. Según Shapere, esta tesis resulta ser muy verosímil si se piensa que el centro solar se halla por debajo de enormes cantidades de material, presiones y temperaturas que imposibilitan cualquier acceso a los seres humanos.

En contraste, existen muchas afirmaciones provenientes de los científicos que aseveran que resulta posible observar directamente el núcleo solar mediante ciertas partículas peculiares que se forman en el centro del mismo. Esta aparente contradicción, entre la afirmación de Comte y la de los astrofísicos, hace que Shapere se pregunte si ambos están hablando de lo mismo o no. Esto implica saber si ambos hacen un mismo uso de la palabra observación o de la frase “observación directa” cuyos términos son el sustantivo “observación” y el adjetivo calificativo “directa”. Más

aún, él se pregunta si los astrofísicos hacen diferentes usos de estas palabras y en qué sentido pueden diferir las mismas.

Sin embargo, Shapere no pretende establecer un análisis del tipo semántico y lingüístico del concepto de observación, sino más bien hacer una presentación para luego realizar una reflexión epistemológica en torno a la misma noción. Para ello supondrá en principio que las afirmaciones de los científicos son vagas y encierran ambigüedades entre ellas. Así, partiendo de la posición del filósofo, él tratará de comprometerse con una compleja cadena de actividades, prácticas y de razonamientos en relación a cómo se ha desarrollado y cómo ha evolucionado históricamente el trabajo experimental con los neutrinos. Básicamente, la idea es que en el interior de cualquier estrella se producen ciertas reacciones físicas que producen energía. Estas reacciones son causadas principalmente por las grandes presiones que se dan en las regiones centrales de la estrella. Tales presiones son debidas principalmente a la fuerza de la gravedad de la estrella, que tiende a colapsar la misma generando una sucesión de reacciones conocidas como *protón-protón*. Esta última se produce por la interacción de dos átomos de hidrógeno, los cuales son átomos simples conformados por un protón en su centro y un electrón que lo orbita. Dichas interacciones sucesivas entre los núcleos de los átomos de hidrógeno pueden desencadenarse en tres posibles sub-cadenas. Cada una de estas últimas producirán diferentes partículas (unas más energéticas que otras) llamadas neutrinos. Estos últimos son partículas también conocidas como partículas de altas energías, las cuales escapan del interior de las estrellas con velocidades próximas a las de la luz. De esta manera, los neutrinos que viajan desde el interior hasta el receptor de los mismos, poseen una cantidad de energía calculable de acuerdo con las teorías preestablecidas. También es calculable la posibilidad de captura de un neutrino, esto es, con una cierta probabilidad. En palabras de Shapere:

“...parecería que tiene sentido construir un aparato capaz de detectarlos, siempre y cuando fuese posible según la tecnología actual, y deseable en función de las prioridades de la investigación. Puesto que puede calcularse tanto la probabilidad de captura como la probabilidad de que la cadena que resulte sea la del boro 8, entonces puede obtenerse

información acerca de los procesos que ocurren en el Sol, y así pueden ponerse a prueba modelos del Sol y de sus procesos de producción de energía.” (Shapere, 1989, p. 481)

Al comprender esta afirmación es posible notar el importante vínculo o conexión existente entre las diferentes teorías que yacen por detrás del experimento, como así también el importante papel que cumple la tecnología en este contexto. Así, un detector de neutrinos consta de un gran recipiente que con una enorme cantidad de una sustancia química especial para capturar las partículas más energéticas. Este telescopio de neutrinos se halla ubicado en el fondo de una mina con el objetivo de que no exista interferencia con otras partículas producidas naturalmente en la atmósfera, o bien, artificialmente en la superficie terrestre. De esta manera, los cuatrocientos mil litros de *percloroetileno* (sustancia utilizada comúnmente en el proceso de lavado en seco) capturan los neutrinos producidos de una de las tres posibles cadenas.

Sin embargo, este proceso, por más sofisticado y complejo que sea, no invalida la afirmación de Comte. Por lo tanto, podría decirse que lo que en tal experimento se observa no son precisamente los fenómenos que acontecen en las regiones centrales del Sol. Por lo contrario, lo que se observa son más bien las diversas absorciones de neutrinos en el detector o los registros de tales partículas en el contador de proporciones dispuesto a lo largo del instrumento, por ejemplo. Además, el observador interviene constantemente en el mismo trabajo experimental ya sea manipulando con estas partículas, o bien, guiando y modificando el vasto arsenal de piezas de equipo necesarias en el experimento. Según Shapere, en un sentido estricto lo que se observa es un proceso sofisticado. Por consiguiente, la observación de los eventos que ocurren en el interior del Sol debe estar ligada a las inferencias observacionales.

No obstante, la mayoría de las afirmaciones de los astrofísicos se encuentran impregnadas de términos como detección, sondeo, medición, información, cuantificación, visión directa, prueba directa, etc. En este sentido, los diferentes usos que hacen los científicos en torno a la observación directa de un objeto son muy amplios y extensos. Incluso, esta amplitud se extiende a la aplicación de términos que conceptualmente y técnicamente difieren entre sí. Por lo tanto, los diferentes usos que hacen los astrónomos, en relación con la observación directa, son vagos e incorrectos.

Desde la perspectiva del filósofo que se mencionó al comienzo de este apartado, al caracterizar la observación de estas formas, sus usos resultan ser ambiguos y no se relacionan de ninguna manera con la “genuina” observación.

Además, Shapere presta mayor atención a dos afirmaciones de J. N. Bahcall, experto en la teoría de los neutrinos, quien asevera que *sólo los neutrinos pueden permitirnos “ver” el interior de una estrella...los neutrinos nos ofrecen una posibilidad única de “mirar” en el interior del Sol*. Estas afirmaciones hacen que Shapere se pregunte cuáles son las relaciones que hay entre la percepción sensorial y la observación rigurosa. Esto implicaría adquirir un conocimiento certero acerca de cómo y en qué medida se encuentran relacionadas la observación con la percepción, y más aún cómo éstas se vinculan con la comprensión y contrastación de teorías e hipótesis científicas. De esta manera, él concluye que el uso que hacen los astrofísicos es definitivamente ambiguo y encierra divergencia conceptual, ya que nos es lo mismo “ver u observar una mesa” que “detectar o cuantificar una mesa”. Por otro lado, los científicos hacen afirmaciones diferentes, es decir, algunas veces afirman que están observando las interacciones de las partículas en el detector de neutrinos y otras veces que están observando el interior solar.

Según Shapere, esta clase de controversias surge a partir de cómo los filósofos de la ciencia, a través de los años, han trabajado y enseñado ciertas problemáticas filosóficas, las cuales han marcado de algún modo u otro el proceder de la empresa científica. Un ejemplo de esto último se muestra en relación a cómo han sido estudiados ciertos tópicos en torno a la relación entre la teoría y la observación y en qué medida la observación se halla cargada de esta última. Así, el argumento de la carga teórica ha tenido ciertas implicaciones tanto en el proceso de contrastación y de prueba de las teorías, como así también en el grado de objetividad de tales pruebas.

Sin embargo, lo que realmente le interesa a Shapere no es una palabra o un conjunto de palabras, sino los contextos involucrados que se hallan detrás de tal o cual uso. En este sentido, él afirma lo siguiente:

“La clave para entender el uso que el astrofísico hace del término observación directa, y de otros relacionados con éste, cuando habla acerca de neutrinos que provienen del centro del

Sol, se encuentra en el contraste entre la información que así se recibe y aquella que se recibe con base en la fuente de información alternativa acerca del centro del Sol que está disponible, a saber, la recepción de información electromagnética (fotones de luz). (Shapere, 1989, pp. 486-487)

De esta manera, él hace referencia a la señal como transporte de información que va desde la fuente de emisión hasta el receptor. Dicha señal, a diferencia de los neutrinos, posee una naturaleza electromagnética. Básicamente, cuando se producen tales neutrinos en el interior solar también se producen rayos gamma con longitudes de onda muy cortas, los cuales viajan desde las regiones centrales a la superficie del Sol y se transforman en radiación visible. Así, esta última radiación proviene de la fotosfera solar (la capa más externa de la estrella) y permite observar directamente la superficie de dicho objeto. En este sentido, la base de información alternativa no permite observar lo que ocurre en el centro de la estrella. Por lo tanto, las conclusiones que se basen en la información electromagnética deberán ser inferenciales o indirectas. Más adelante se precisará sobre este punto.

De esta forma, Shapere sugiere que este contraste entre las dos bases de información proporciona una interpretación correcta de la expresión “directamente observado” y de términos afines. Así, él afirma lo siguiente:

“x es directamente observado (observable) si:

- 1] Se recibe información (o puede recibirse) por medio de un receptor apropiado; y*
- 2] esa información es (o puede ser) transmitida directamente, es decir sin interferencia, desde la entidad x (que es la fuente de información), hasta el receptor.” (Shapere, 1989, p. 488)*

Más abajo de este análisis propuesto, Shapere pretende mostrar que:

“...la especificación de lo que cuenta como directamente observado (observable), y por consiguiente de lo que cuenta como una observación, es una función del estado prevaleciente de conocimiento acerca del mundo físico, y puede cambiar conforme cambia dicho conocimiento...el conocimiento físico prevaleciente especifica qué cuenta como un receptor apropiado, qué cuenta como información, los tipos de información que existen, las formas en las

cuales se transmite y recibe la información de diversos tipos, y el carácter y los tipos de interferencia así como las circunstancias y la frecuencia con la que ésta ocurre.” (Shapere, 1989, pp. 488-489)

De esta manera, él fragmenta esta discusión en tres elementos entremezclados que conforman una *situación de observación*: *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. A propósito de esta división, Shapere también afirma que esta separación no posee ningún interés metodológico ni científico, pero sí es necesario para caracterizar una noción de observación desde un punto de vista epistemológico.

En primer lugar, la teoría de la fuente se va a referir a la enorme cantidad de teorías que van desde la teoría de la relatividad general, pasando por las teorías sobre la cadena protón-protón, hasta las diferentes teorías de la evolución estelar. Así, las reacciones y procesos que se dan en el interior de una estrella, al momento de producir neutrinos, quedan determinados tanto por la teoría de las reacciones nucleares como también por los experimentos. De esta manera, la teoría de las interacciones débiles cumple un rol crucial al comprender y al dar explicación a reacciones donde intervienen tales partículas; y dentro de estas últimas sobre todo a las más energéticas, es decir, a los neutrinos producidos a partir de la sub-cadena del isótopo radioactivo boro 8. Por lo tanto, la captura en el telescopio de neutrinos y su probable detección se halla sujeta a la producción de los neutrinos más energéticos. Así, la teoría de la fuente debe precisar de un marco teórico que explique estas condiciones más precisas, esto es, debe incluir un modelo del Sol. Dicho modelo involucra diferentes aspectos astrofísicos tales como el *equilibrio hidrostático* de la estrella, es decir, el equilibrio existente entre la gravedad que tiende a comprimir la estrella y la *fusión nuclear* que tiende a expulsar el material solar hasta su superficie. La primera reacción ejerce tanta presión en el interior del Sol, que sin ella no podría darse la segunda reacción; la cual provoca la transformación de enormes cantidades de hidrógeno a helio. Cuando esta *reacción termonuclear* se termina, es decir, cuando la estrella agota su combustible la misma se descompensa y la acción gravitatoria colapsa la materia estelar restante. Así, la muerte de una estrella

va a depender de factores como su masa, densidad y temperatura. De esta manera, el modelo del Sol incluirá las teorías más sofisticadas y aceptadas por la comunidad de astrofísicos, tales como las que menciona Shapere a continuación:

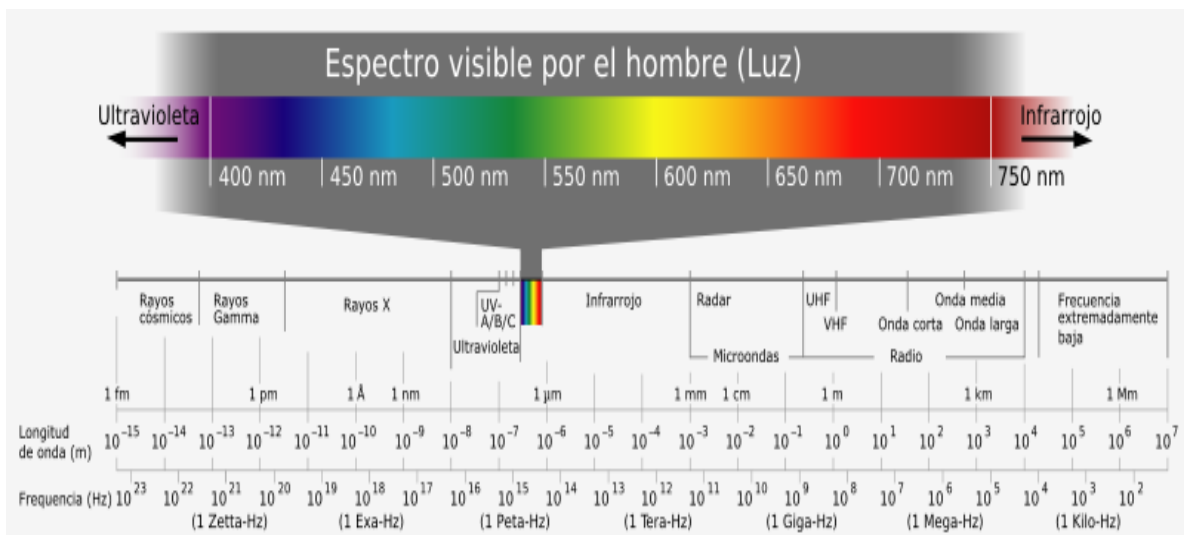
“...esto es, las mejores teorías contemporáneas de la estructura solar, de la evolución estelar, de la producción de energía estelar, las teorías físicas pertinentes sobre reacciones nucleares y sobre las interacciones electromagnéticas, débiles y gravitacionales, y algunas teorías físicas más específicas como la que se refiere a cómo se transporta la energía, más los valores numéricos asignados a los diversos parámetros que entran en escena...” (Shapere, 1989, pp. 496-497)

Sin embargo, ante todo este conocimiento preestablecido en la teoría de la fuente resulta una tarea compleja construir *modelos estándar* que hagan predicciones teóricas precisas respecto a ciertos acontecimientos físicos y de actividades relacionadas al diseño experimental. Shapere cita un ejemplo de esto último cuando menciona que las predicciones de los primeros modelos estándar no se ajustaban, desde que se inició el experimento en 1967, con las observaciones obtenidas en el telescopio de neutrinos. Así, aunque las teorías predigan que en un centímetro cuadrado pasan cerca de cien millones de neutrinos por segundo, la recepción en el detector es sumamente inferior a la tasa predicha por el modelo. Esto conllevó sistemáticamente a ajustar el modelo variando los supuestos astronómicos y las condiciones iniciales de los mismos.

En segundo lugar, al mencionar la teoría de la transmisión él hace referencia a la teoría de la interacción débil, la cual proporciona la explicación necesaria para entender las diferentes propiedades de los neutrinos. Estos últimos, desde su producción en las regiones centrales del Sol hasta su recepción en el detector, no son perturbados en gran medida por otras entidades no deseadas. Esto significa que la señal no posee demasiada interferencia, y así los neutrinos como transporte de información son el medio más eficaz al momento de observar lo que acontece en el interior solar. Por consiguiente, Shapere se va a referir a la teoría de la transmisión de la fuente alternativa de información, más precisamente a la señal cuya naturaleza física es electromagnética. Como se había mencionado anteriormente, en el interior del Sol se

producen rayos gamma. Los fotones de este tipo de radiación atraviesan diferentes medios perturbadores. En estos últimos, se producen absorciones y dispersiones de tales fotones, hasta que los mismos llegan a la superficie solar y son reemitidos desde la fotosfera en forma de luz visible. De esta manera, la señal se carga de ruido a medida que atraviesa las diferentes capas solares. En este sentido, la información de lo que acontece en el interior del Sol se pierde debido a la tergiversación de la misma al momento de codificarse en radiación visible.

En tercer lugar, Shapere se refiere a la teoría del receptor. Luego de hacer una reseña histórica de los métodos discutidos y propuestos desde mediados del siglo pasado hasta finales de la década del sesenta, él hace notar que la información previa es crucial a la hora de determinar una observación rigurosa. Por otra parte, es notable la enorme cantidad de afirmaciones físicas respecto a la existencia de entidades y procesos que se dan en el trabajo experimental. Sin embargo, la mayor parte de estas afirmaciones existenciales no son accesibles a los sentidos de los seres humanos. Estos últimos se encuentran limitados a eventos físicos de un determinado tipo, tal es el caso del rango específico del espectro electromagnético accesible a la vista humana. Así, de todos los rangos del espectro, sólo una pequeñísima fracción puede ser captada por los sentidos.



[FIG. IV.2] RANGO VISIBLE DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.

De esta manera, los ojos del ser humano son considerados receptores específicos de una cierta región (visible) del espectro capaz de detectar longitudes de onda que van desde el color azul hasta el color rojo. Sin embargo, es sabido que en el reino animal existen especies que han evolucionado y han desarrollado tipos particulares de ojos que detectan regiones del espectro más allá de los colores. Estos receptores naturales, son capaces de detectar rangos próximos a las regiones del ultravioleta y del infrarrojo (óptico). Además, esta generalización de un receptor apropiado a rangos particulares del espectro electromagnético, puede extenderse a receptores artificiales capaces de detectar rangos que van desde las ondas de radio hasta los rayos gamma.

Por otra parte, Shapere trata de extender aún más la noción de receptor apropiado haciendo referencia a las cuatro fuerzas fundamentales que se conocen que existen en la naturaleza: la interacción fuerte (la causante de la cohesión nuclear, es decir, la fuerza que mantiene el núcleo atómico unido), la interacción débil (causante de los fenómenos radioactivos y la fuerza que controla los neutrinos), la interacción electromagnética (mencionada anteriormente) y la interacción de la gravedad (la fuerza que controla las órbitas de la mayoría de los cuerpos celestes en el universo). Así, según él:

“...un receptor apropiado puede ahora entenderse como un instrumento capaz de detectar la presencia de tales interacciones, y por consiguiente de las entidades que interactúan, de acuerdo con las reglas o leyes precisas de la física actual.” (Shapere, 1989, p. 504)

Estos cuatro tipos de interacciones físicas son tomadas como cuatro bases de información disponible. Cada una de estas últimas determina la naturaleza física de una señal en particular que puede emitir un cierto objeto. Además, cada uno de estos cuatro tipos fundamentales de información controla tanto la recepción de la misma señal, como así también la caracterización de lo que cuenta como una información adecuada a la hora de observar un objeto. Sin embargo, Shapere asevera que estos cuatro tipos de interacciones no alcanzan, por sí solos, al momento de sacar conclusiones respecto de la fuente, es decir, del objeto que emite la señal. Por consiguiente, al observar

directamente una entidad, se debe contar con otro tipo de información como complemento. Más precisamente, se deben tomar en consideración teorías generales de una cierta disciplina y aspectos particulares del objeto estudiado. Por ejemplo: a la teoría de la fuente, en el caso de los neutrinos, se debe indexar las teorías de la evolución y estructura estelar e incluir cierta información del Sol como su masa y su temperatura, entre otras propiedades. No obstante, Shapere afirma que también debe añadirse cierta información respecto a los medios naturales que perturban la señal (absorción y polarización de la luz, por ejemplo) y a los medios artificiales que interfieren en la misma (inexactitud, márgenes de error y precisión de un instrumento).

Por lo tanto, resulta casi impensable que no exista ningún tipo de relación entre alguno de los usos que los astrofísicos hacen del término “observación directa” en relación con la experimentación, incluso con la percepción sensorial. Por otra parte, tradicionalmente los filósofos de la ciencia han caracterizado la observación de dos maneras. Por un lado, se encuentra el aspecto perceptual de la observación, donde la misma es un tipo particular dentro de la percepción sensorial. En este sentido, el problema de la observación es reducido a un problema de la percepción, el cual es tratado mediante una determinada teoría que comprende este último problema. Por otro lado, se halla el rostro epistémico de la observación. Este uso filosófico del término “observación” se relaciona con el rol que tiene la misma a la hora de ofrecer evidencia tanto en torno a un sistema de creencias bien fundadas, como así también en la contrastación de un cierto conocimiento previo. Según Shapere, el empirismo como tradición filosófica caracterizaba la observación en estos dos sentidos, es decir, todo conocimiento bien fundado descansa, en última instancia, en la experiencia, la cual se interpreta en función de la percepción sensorial.

Sin embargo, en la ciencia contemporánea, es común detectar señales emitidas por ciertos objetos que proveen información no accesible directamente a los sentidos de los seres humanos. Así, él afirma lo siguiente:

“la ciencia ha llegado cada vez más a excluir tanto como sea posible a la percepción sensorial de jugar algún papel en la adquisición de evidencia observacional; esto es, la ciencia confía cada vez más en otros receptores apropiados.” (Shapere, 1989, p. 507)

Por consiguiente, los trabajos experimentales han desvinculado la fuerte conexión entre la observación y la percepción. Así, los aspectos epistémicos de la observación han ocupado un lugar central en las prácticas científicas, sobre todo en la contrastación de las hipótesis y teorías a partir de la observación del mundo físico. No obstante, la percepción sigue ocupando un rol importante al momento de generar conocimiento en las disciplinas científicas.

Un aspecto interesante de esto último tiene que ver con que los científicos, al fin y al cabo, son personas que construyen instrumentos y que producen un diseño experimental, el cual proporciona información para que ellos mismos puedan acceder y así generar conocimiento. De esta manera, un receptor apropiado es un aparato que codifica y transforma la información “invisible”, o más precisamente inaccesible, en información accesible a los sentidos. Por lo tanto, los diferentes aspectos perceptuales intervienen a menudo en el proceso de observación. Así, por ejemplo, la visualización por parte de un astrónomo de fotografías tomadas en diferentes longitudes de onda de un objeto en particular puede sugerir, en un contexto de descubrimiento, la clave en la resolución de un problema. De todas maneras, Shapere afirma que el observador juega un rol de usuario de la información que se recibe y registra. Además, él asevera que este papel de usuario es la única relación existente entre la observación como evidencia y la percepción. Todo esto lo conduce a pensar la posibilidad de incluir en su análisis epistemológico una tercera cláusula para “x es directamente observado (observable)”, de la siguiente manera:

“3] la información es transformada por dispositivos apropiados en información accesible a los seres humanos, la cual (eventualmente) es percibida (y usada apropiadamente como información) por seres humanos.” (Shapere, 1989, p. 509)

Sin embargo, él rechaza toda posibilidad de incluir en su análisis esta última condición debido a que la utilización de esta información, por parte de los científicos, debe excluirse de las caracterizaciones epistémicas que se hagan en torno al concepto de observación. En este sentido, él asevera que la asimilación de la observación a la categoría de interacción física posibilita una caracterización epistémica de la misma.

Dicho aspecto permite comprender las genuinas funciones de la observación, esto es, como evidencia científica tanto en la búsqueda de conocimiento, como así también en la contrastación de un sistema de creencias.

Según Shapere, esta conceptualización de la observación permite la liberación de la misma con respecto a la subjetividad en torno a la extensa divergencia de usos posibles. De esta manera, él enfatiza la necesidad de eliminar el rostro perceptual de la observación a fin de no caer nuevamente en un reduccionismo de este tipo. Por otra parte, el empleo de la información previa en las prácticas experimentales ha sido reconocido por ciertos filósofos de la ciencia como la carga teórica de la observación. En este sentido, a diferencia de Hanson, Shapere no reconoce el argumento de la observación cargada de teoría en términos de la percepción. Según este último, esta tendencia de enfatizar ciertos aspectos de la percepción en la observación científica, tales como los problemas observacionales relacionados con cambios gestálticos, oscurecen los verdaderos problemas que giran en torno al cambio científico.

IV.7 El concepto de observación de Kosso

Esta sección intenta abordar la noción de observabilidad en ciertas prácticas relacionadas con la astronomía contemporánea. En particular, se pretende investigar cuáles son los criterios epistémicos que subyacen a este concepto en el análisis morfológico (Zwicky, 1948, 1957) y cuál es el alcance de este método en las observaciones recientes de sistemas de galaxias.

Se tomarán en consideración algunos aspectos de diferentes posiciones filosóficas vinculados a la observabilidad (Kosso, 1988, 1989, 2006) (Chang, 2005) que hacen referencia a la problemática, dada en la década de 1980, en torno al concepto de observación en ciencia. Autores como Chang sostienen que dicha noción pertenece a las cualidades más que a los objetos. Por ello, una cualidad es observable si puede ser registrada por el sensorio humano, incluso con la ayuda de instrumentos. Según esta postura, situarse en un empirismo tradicional permite repensar este concepto y caracterizarlo en términos de observaciones pre-teóricas e interpretaciones. En esta dirección, este autor considera que la observabilidad depende de las cualidades de los

objetos y no de ellos mismos. Pensar lo contrario, implicaría presuponer algún tipo de relación causal en la transferencia de la información que va desde el objeto bajo investigación hacia el sujeto epistémico. Chang sostiene que una noción de observación basada en las propiedades de los objetos físicos permite abandonar cualquier interpretación de la señal como un proceso de transmisión causal. Además, y fundamentalmente, permite dejar de lado aquellas dificultades que conlleva el argumento de la carga teórica de la observación.

No obstante, existen otras perspectivas en torno a esta problemática que ponen énfasis en hacer depender la observabilidad, de los objetos. Incluso, aunque dependa de ciertas cualidades o propiedades físicas específicas, las mismas sólo pueden corresponderse a objetos determinados. Según Kosso, la distinción entre observables e inobservables puede superarse mediante un análisis descriptivo de la observabilidad en términos de la información que se recibe a partir de ciertas “interacciones” dadas entre los diferentes objetos físicos. Así, tanto la interacción como la transferencia de la información pueden ser explicadas a través de la aplicación de teorías específicas, no fundamentales. Por otra parte, este autor sostiene que la observabilidad posee muchas “dimensiones” que representan las diversas formas en las que se puede adquirir, a través de interacciones, información confiable del mundo físico. Estas dimensiones, como la intermediación entre un objeto y un observador, o lo directo/indirecto de la percepción sensible, o bien la cantidad e independencia de interpretación de la información, pueden poseer diferentes grados de libertad. Estos últimos permiten evaluar la observabilidad de los objetos y de sus propiedades físicas involucrados en un proceso observacional.

El objetivo de este apartado consiste en integrar diferentes aspectos epistemológicos de las dos perspectivas mencionadas anteriormente y contrastarlos en la metodología observacional propuesta por Zwicky. De esta manera, se explorará cuál es el alcance del método morfológico en las investigaciones actuales vinculadas a la identificación y observación de cúmulos y grupos de galaxias (Muriel, 2006; Coenda & Muriel, 2008). Específicamente, se considerarán las diversas relaciones de propiedades observacionales de las galaxias miembros y sus correlaciones con ciertas propiedades

del entorno astrofísico (Martínez & Muriel, 2006; Añorve et al., 2010; Guo et al., 2009; Weinmann et al., 2006).

A partir de este estudio de caso, se distingue que la observabilidad se halla definida en dos fases con diferentes niveles o estados, respectivamente. La primera se refiere a las relaciones causales dadas entre dichos estados y entre los diversos objetos y sus atributos físicos presentes en cada uno de ellos. La segunda fase se corresponde con determinadas correlaciones entre los variados aspectos de tales niveles, generando patrones observacionales. Se concluye que estos últimos son propiedades inherentes a un proceso de observación sofisticado y no a objetos específicos. Esta caracterización de la observabilidad permite establecer taxonomías de objetos y de sus cualidades físicas y brindar, eventualmente, nuevas definiciones de los mismos.

IV.8 El concepto de observabilidad de Chang: objetos vs. propiedades

Según este autor la noción de observabilidad basada en los objetos, propuesta en *La Imagen Científica* de van Fraassen (1980), debe ser removida ya que involucra sesgos realistas. Así, al introducir una definición basada en las propiedades físicas de esos objetos, Chang se propone reconstruir el “empirismo constructivo” de van Fraassen con más firmeza en los argumentos empiristas. Tradicionalmente, estos últimos acordaban que el conocimiento del mundo físico se iniciaba en lo que reportaban las sensaciones humanas inherentes a las cualidades de los objetos contemplados. De esta manera, lo observable se definía como un término que se aplicaba sólo a las propiedades que eran directamente percibidas por los sentidos. Sin embargo, en la actualidad, existe una marcada tendencia a considerar la observabilidad fundamentada en las propiedades específicas de objetos concretos. Esta perspectiva posee diversos matices en las variadas caracterizaciones que ha tenido el concepto de observación en la década de 1980 por diferentes autores, tales como van Fraassen (1980), Shapere (1982), Brown (1987), Kosso (1988), Radder (2006), entre otros.

Aunque Kosso sostiene que la observabilidad está vinculada a las cualidades, atributos o propiedades cuantificables, Chang considera que en este vínculo hay una

fuerte dependencia de los objetos físicos. Según este último autor existen numerosas observaciones que no están asociadas a objetos particulares, lo cual implica un compromiso fenomenológico en torno a lo que se considera una observación. Esta puede asociarse a mediciones de cantidades determinadas, mediante el empleo de instrumentos, que no poseen una clara referencia a los objetos involucrados en una situación observacional dada.²¹ Aun así, Chang sostiene que en tales casos el registro de estas propiedades medidas hace que las observaciones sean igualmente significativas y coherentes, incluso sin el conocimiento y la presuposición de uno o varios objetos específicos. De esta manera, este autor define que una propiedad o cualidad es observable si puede ser registrada por la sensación humana y la afirmación de tal registro no es deshecha al abandonar aquellas interpretaciones que son opcionales. Además, él afirma que la observación es el acto de obtener información a través de los sentidos sin este tipo de interpretaciones.

Resulta difícil comprender esta postura que hace alusión a la problemática filosófica relacionada a observaciones “puras” o “pre-teóricas” en las prácticas actuales. A los propósitos de este apartado no se desarrollará esta cuestión y se sostendrá una perspectiva moderada con respecto a la posición de Chang. En el capítulo siguiente, en la sección sobre experimentación, sí se analizará en detalle este asunto. Esto significa conceder que las propiedades que son registradas por determinados aparatos del sistema de observación puedan ser “cuasi-observacionales”, es decir, cuando el uso de los instrumentos no involucre interpretaciones que sean consideradas auxiliares. Simplemente pueden emplearse dispositivos y piezas de equipo como extensiones de los sentidos, sin cuestionar su correcta operatividad y funcionamiento. Desde este punto de vista, se asevera que, a partir de la percepción visual del registro de ciertas propiedades observadas, puede construirse un nuevo concepto inherente a éstas, o bien, reconstruirse uno ya existente. Un ejemplo de esto último resulta del análisis de cómo a partir de las sensaciones de frío y calor puede elaborarse la noción de

²¹ Chang menciona el descubrimiento de William Herschel de la radiación infrarroja. Al situar un termómetro en la sombra cercana al color rojo del espectro continuo del Sol, Herschel observó que este instrumento registraba un incremento en la temperatura. Así, la propiedad medida no se correspondía con ningún objeto específico conocido. Esto se debía fundamentalmente a la incapacidad, tanto explicativa como predictiva, de las teorías de ese entonces y al abandono de interpretaciones auxiliares respecto de los instrumentos implicados.

temperatura. Más adelante, se hará notar la importancia de este punto cuando se lo vincule con el pensamiento morfológico de Zwicky.

Ahora, si no hay modo de distinguir este tipo de observaciones (en sí) de sus interpretaciones, una de las cuestiones más importantes que surge inmediatamente es el argumento de que la observación está cargada de teoría. Sin embargo, Chang sostiene que esta consideración, actualmente del sentido común filosófico, es exagerada. Aunque la carga teórica atañe a las posibles interpretaciones de las observaciones y no a las observaciones en sí, no puede negarse que estas interpretaciones puedan introducirse en la experiencia de manera no intencional. De todas formas, él afirma que estos prejuicios teóricos pueden ser retirados o eliminados mediante la reflexión acerca de las diferentes capas semánticas que son eventualmente incluidas en un proceso observacional sofisticado. Por otra parte, estas interpretaciones tácitas no son dadas *a priori* ya que pueden ser adquiridas a partir de ciertas habilidades desarrolladas en la práctica observacional por cada sujeto epistémico. Así, un observador experimentado puede reconocer implícitamente la presencia de interpretaciones y acordar por consenso el abandono de ellas. Como se notará más abajo, esta práctica es acorde con uno de los principios fundacionales del análisis morfológico, a saber: la liberación de prejuicios.

Por otro lado, este aspecto humano del empirismo propuesto por Chang permite reforzar la idea de “construcción” del empirismo de van Fraassen. De esta manera, a fin de eliminar la tendencia realista en sus argumentos, el primer autor sostiene que una noción de observabilidad basada en las propiedades, más que en los objetos, admite que dichas interpretaciones son construidas a partir de la visualización de diferentes propiedades. Estas últimas no poseen una referencia concreta con objetos particulares, sino con fenómenos observados, asociados a diferentes procesos y eventos complejos.

IV.9 La noción de observabilidad de Kosso: interacciones y dimensiones

La observabilidad ha sido caracterizada por diversos filósofos de la ciencia a partir de la dicotomía entre entidades observables e inobservables. Algunos sostienen que no hay un criterio de distinción que sea lo suficientemente claro y en consecuencia proponen la

idea de un “continuo unidimensional” entre tales entidades (Maxwell, 1962). Otros, en cambio, proponen esquemas diferentes de esta dicotomía (van Fraassen, 1980) y varios se alejan de esta distinción poniendo énfasis en las interacciones físicas y definiendo “lo que cuenta como observable” (Shapere, 1982). Sin embargo, el interés de Kosso no es dar una caracterización de este tipo, sino 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, él afirma que la observabilidad posee grados de libertad o dimensiones asociadas a interacciones que no son físicas.

En términos generales, esta postura sostiene que la observación consiste en obtener información del mundo, considerando su transmisión desde la fuente hasta el observador. Es importante destacar que Kosso distingue entre la naturaleza de la señal transmitida y la señal como transporte de la información. La primera alude a las cuatro interacciones físicas básicas (nuclear fuerte, nuclear débil, electromagnética y gravitatoria), mientras que la segunda hace referencia a las “interacciones” dadas a partir de diferentes procesos epistémicos involucrados. El valor de estas últimas se corresponde al contenido informacional adquirido en los reportes observacionales de determinados objetos y de sus propiedades físicas. Él considera que la observabilidad se define en términos de pares ordenados de objetos y propiedades de esos objetos.²² Según Kosso:

El par ordenado $\langle x, P \rangle$ es observable en la medida en que pueda haber una interacción (no física) o una cadena de éstas entre el objeto y el sistema observacional tal que la información de que x es P se transmite al aparato y, eventualmente, al científico humano. (Kosso, 1988, p. 451)

A diferencia de Shapere, quien enfatiza la importancia que tienen las interacciones físicas en la transmisión de la señal, Kosso acentúa el rol que posee el

²² La forma de esta caracterización obedece a la necesidad de relacionar los objetos físicos con sus atributos observables. Precisamente, la motivación de este autor surge de la importancia epistémica que posee el contenido informacional y de la manera en la cual se expresa y se presenta en los resultados observacionales. Dicho contenido se corresponde a ambos elementos de la relación. No obstante, a los fines de facilitar el modo de enunciar esta información, él menciona la posibilidad de describir la observabilidad en n-tuplas y no sólo en pares ordenados de objetos y propiedades.

contenido informativo que acarrea esa señal transmitida desde el objeto hasta el sujeto epistémico. Este último autor sostiene que, aunque la naturaleza física de dicha señal no cambie, la misma puede interactuar informacionalmente innumerables veces, de hecho, en grupos o cadenas de interacciones muy diversas. Esto significa que la señal entendida como transporte es una confluencia de informaciones provenientes de diferentes canales, es decir, de variados objetos y de sus respectivas propiedades. Así, las interacciones entre la fuente y el observador son condiciones necesarias, pero no suficientes, de la práctica observacional. Existen otras condiciones que deben ser agregadas respecto al contenido informativo. En este sentido, la información original puede ser perturbada tanto por medios extrínsecos (naturales) como intrínsecos del sistema de observación. De esta manera, la observabilidad tiene diferentes dimensiones inherentes a este tipo de interacciones no físicas.

Según Kosso, la información es transferida entre diferentes estados o niveles y el contenido original (x es P) interactúa con algo más que ocupa el rol de intermediario, resultando en otra información (y es Q) y así sucesivamente hasta llegar al observador. Esta caracterización permite evaluar la observabilidad de los objetos y de sus atributos físicos en dimensiones con distintos grados de libertad. Una de ellas se corresponde a la *inmediación* entre el nivel inicial y el estado final, más precisamente con qué objetos o propiedades de objetos específicos puede interactuar el par ordenado $\langle x, P \rangle$ de manera informativa. Así, existen tres valores o grados admisibles de esta dimensión. Uno de ellos puede significar que un objeto o sus propiedades específicas no interactúan de ninguna manera con el sistema de observación (aparatos, componentes; etc.) y por ende con el observador humano. Estas entidades son consideradas *inobservables en principio*, ya que las teorías físicas que las describen excluyen explícitamente cualquier interacción posible. Otro valor de la inmediación se vincula con aquellos objetos que sólo interactúan con los instrumentos de observación y no con los órganos sensitivos humanos, o por lo menos no directamente. Según Kosso, estos objetos son *imperceptibles de hecho*. El tercer valor de esta dimensión se corresponde con ciertos objetos y cualidades que son *perceptibles*, es decir, que interactúan informativamente con el sensorio humano sin la asistencia de algún auxiliar que intermedie durante el proceso observacional.

Una segunda clase de dimensión es la *rectitud* o el *carácter directo* en el número de intermediarios o de múltiples mensajeros requeridos en la transmisión de la información desde el estado inicial del objeto hasta el estado final del observador humano. Esta clase está directamente asociada al segundo valor mencionado en la inmediación de la observabilidad. La tercera dimensión caracterizada por Kosso se refiere al *nivel de interpretación* necesario para vincular la información adquirida en una etapa final con aquélla de otra inicial.²³ Precisamente, esta dimensión permite evaluar cuán codificada y anidada se halla la información original en la salida proporcionada por el sistema de observación empleado. Por último, la cuarta dimensión de la observabilidad está vinculada a la *independencia de la interpretación*. Esto significa cuán autónomas son las leyes que rigen la transmisión física de la señal y que explican su transporte con respecto a la teoría de la fuente observada. Estas dos últimas dimensiones son fundamentales en la adquisición y en el procesamiento de los datos. Kosso (1988) no justifica la distinción entre la naturaleza física de la señal y la señal como transporte de la información. Así, al discriminar señal de ruido, un observador podría confundir dos planos conceptuales diferentes que aluden tanto a un aspecto material y causal de la señal como a otro ficcional y no físico, respectivamente. En *Detecting Extrasolar Planets*, Kosso (2006) hace esta salvedad refiriéndose a la discriminación entre información relevante y no relevante en el procesamiento de los datos. No obstante, este aspecto parece ser problemático en su caracterización de la observabilidad.

IV.10 El método morfológico de Zwicky: generación y reconocimiento de patrones

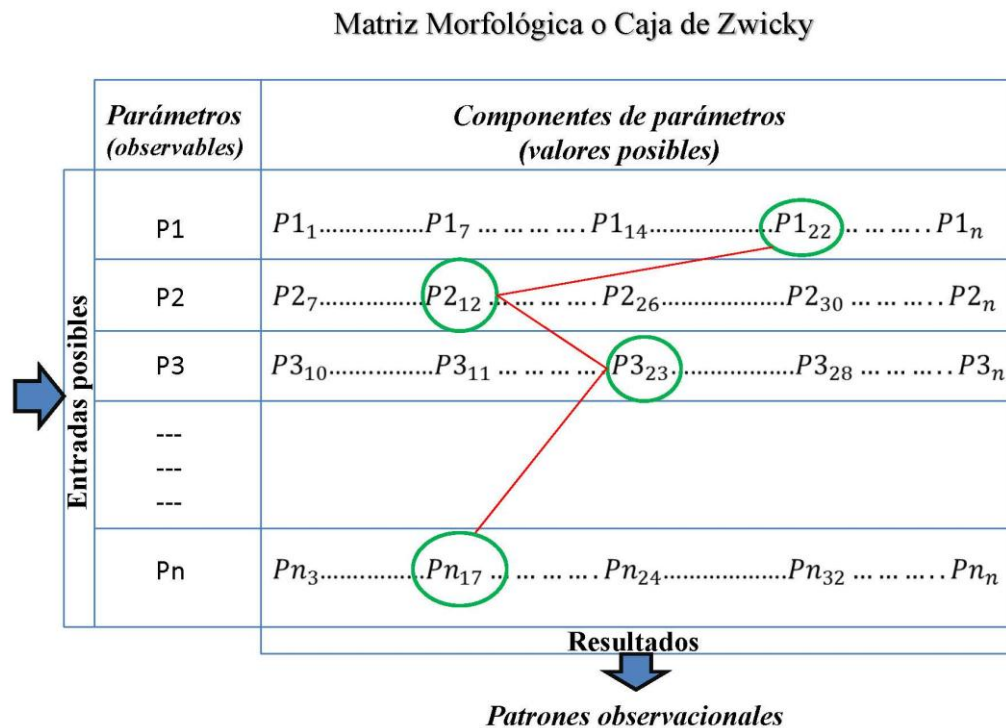
Según Zwicky, la mayoría de los esfuerzos individuales, llevados a cabo por los astrónomos más prestigiosos, no han alcanzado a explorar e integrar todas las áreas de la astronomía contemporánea. De esta manera, el énfasis en desarrollar métodos generales ha permitido obtener una perspectiva integral ante situaciones

²³ Este autor define esta dimensión de la observabilidad como la cantidad de interpretación [*amount of interpretation*] necesaria para correlacionar la información presente en ambos extremos del proceso observacional. Ello sugiere cierta ambigüedad al presuponer que la noción de interpretación es un concepto métrico o cuantitativo. Sin embargo, él subordina dicha noción a una concepción semántica y cualitativa de la información, la cual es tomada de Dretske (1969, 1981, 2000).

observacionales complejas. Este autor afirma que su método intenta brindar cierto orden, estableciendo grados de generalizaciones innovadoras. Así, la finalidad del pensamiento morfológico consiste en dar numerosas aproximaciones como soluciones posibles de problemas específicos referidos a la observación de determinados objetos astronómicos. Cada una de estas soluciones es elegida por un observador particular. Éste puede comprenderla en detalle, pero no de forma aislada respecto de las otras presentes en la visualización de la representación esquemática. Pese a que en su artículo publicado en *The Observatory* (Zwicky, 1948) no provee una formalización de este método, la misma es dada en su libro *Morphological Astronomy* (Zwicky, 1957). A los fines de esta sección, no se desarrollará la justificación formal del método, sino que sólo se van a describir los principios más relevantes.

El método de Zwicky no intenta establecer relaciones físicas y series causales entre los objetos astronómicos bajo investigación. Precisamente, el propósito del mismo reside en definir interrelaciones entre diferentes aspectos coexistentes, es decir, establecer correlaciones entre las propiedades observables de los diversos objetos implicados en la cadena de observación astronómica. El éxito de este pensamiento depende de cuánto pueda el astrónomo desprenderse de sus doctrinas, convenciones y prejuicios epistémicos involucrados en el proceso observacional. Este principio de liberación permite que el análisis morfológico no se limite a campos específicos de áreas particulares de la astronomía. En consecuencia, pueden generarse nuevas aproximaciones para la resolución de problemas concretos. De esta manera, el análisis morfológico consiste en enunciar un problema dado de forma general, tal que permita su aplicación. Además, se requiere de una representación visual que pueda abarcar la mayor cantidad de objetos y propiedades asociados al planteamiento generalizado del problema. Éstos pueden ser considerados parámetros cualitativos y cuantitativos relevantes, los que conforman una matriz morfológica. Otro de los principios de este análisis establece que, en cada parámetro, los atributos correspondientes a un objeto en particular deben ser consistentes. Ello significa que las propiedades de cada objeto considerado no deben ser contradictorias entre sí; si lo fueran, se cancelarían. Un aspecto importante de la matriz o caja morfológica es que puede representar diferentes correlaciones entre las variadas propiedades de cada objeto, es decir, entre los

diversos parámetros de la misma. Esto brinda un gran número de soluciones posibles, las cuales requieren de la *acción directa* del observador para su reconocimiento visual en la matriz. Esto permite seleccionar aquellos resultados que puedan ser relevantes a la hora de definir nuevas clasificaciones de las entidades tomadas bajo consideración.



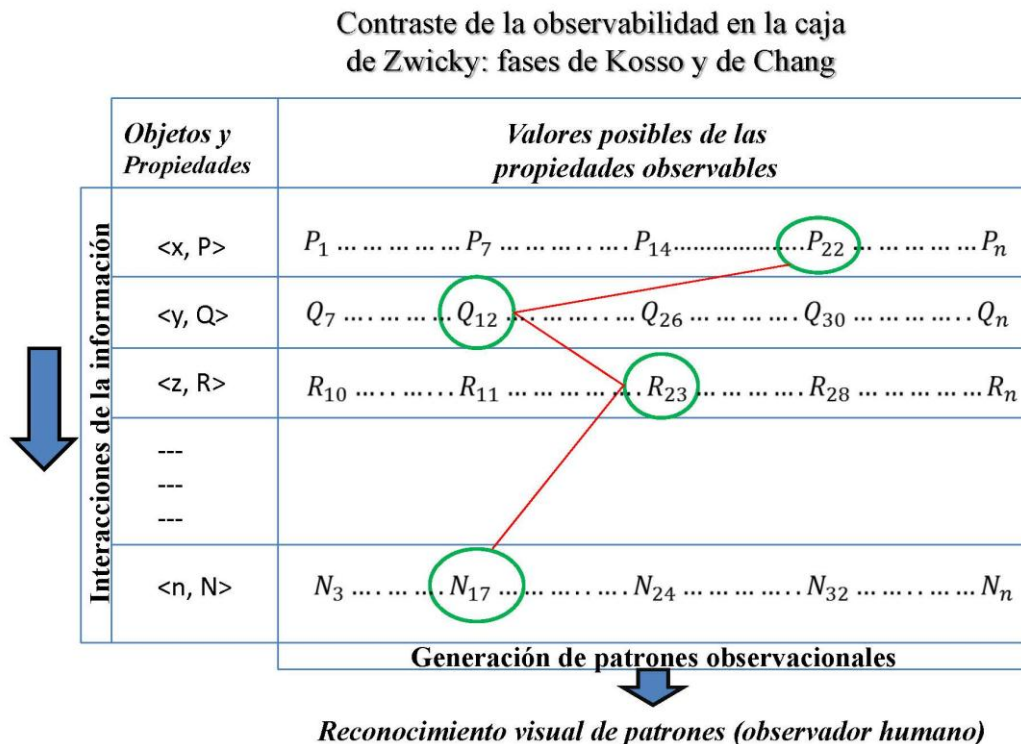
[FIG. IV.3] REPRESENTACIÓN VISUAL DE UNA MATRIZ DE ZWICKY.

Zwicky menciona que las aproximaciones o resultados posibles arrojados por la matriz son “verdades” que se transmiten de persona a persona mediante alguna clase de señal, signo o cualquier otro medio de comunicación. Estas verdades comunicables pueden ser consideradas patrones que se corresponden a enunciados observacionales contruidos en la caja morfológica a partir de ciertas correlaciones definidas. Así, otro de los fundamentos del pensamiento morfológico, denominado *el principio de flexibilidad de la verdad comunicable*, sostiene que ninguna “verdad” formulada en enunciados finitos es absoluta. Por ello, estos últimos son flexibles e incompletos y son capaces de expansión y de refinamiento. Este autor asevera que este principio subyace

en la inagotabilidad de los aspectos de la vida. Este supuesto heurístico define una idea de progreso epistémico interminable mediante la construcción de un pensamiento seguida de una acción, o sea, negando verdades pasadas y construyendo otras nuevas. En la práctica, la aplicación de estos principios proporciona al observador indicios o pistas útiles a la hora de establecer taxonomías de objetos astronómicos.

IV.11 Estudio de caso: propiedades observables de sistemas de galaxias

A los fines de ilustrar lo dicho anteriormente se establecerá un contraste de las dos posiciones epistemológicas, mencionadas al comienzo, en una matriz morfológica.



[FIG. IV.4] CORRELACIONES EVENTUALES: OBJETOS Y PROPIEDADES.

En esta matriz se presentan las dos fases de la observabilidad, correspondientes a las caracterizaciones de Kosso y Chang respectivamente, que subyacen en el análisis morfológico. Considerando el caso astronómico, la primera fase concierne a una sucesión de pares ordenados de objetos (galaxias, grupos, cúmulos, instrumentos y

accesorios, etc.) y de sus respectivas propiedades físicas (tipo morfológico, color, luminosidad, masa de los halos de materia oscura y la distancia al centro de los mismos, eficiencia de los detectores; etc.). La segunda fase se refiere a los diferentes valores de cada propiedad, o relación de propiedades, y a sus correlaciones con otras de los diversos niveles o estados representados.

A partir de las investigaciones recientes, basadas en los catálogos de galaxias producidos por los telescopios *Sloan* (SDSS) y *anglo-australiano* (2dF), se han podido realizar nuevas observaciones de las propiedades de los grupos y de sus galaxias miembros. Esto ha posibilitado dar diferentes definiciones de estos sistemas galácticos. De acuerdo con Muriel (2006), vale la pregunta sobre cuál es la diferencia entre cúmulos y grupos y por qué no hablar de sistemas de galaxias en general. Más allá de si existen diferencias en las propiedades físicas que presentan estos objetos, este autor sostiene que hay cuestiones observacionales que sugieren que los mismos sean estudiados de forma independiente. De esta manera, la identificación de cúmulos puede ser llevada a cabo en catálogos bidimensionales. A diferencia, los grupos de galaxias, al ser menos densos, son identificados en catálogos espectroscópicos, es decir, que consideran corrimiento hacia el rojo o *redshift*. No obstante, hay intentos de dar diferentes definiciones de estos últimos sistemas basados en sus atributos, tales como: agregados de galaxias con sobre-densidad, sistemas con menos de cinco galaxias brillantes, o bien, con una dispersión de velocidades determinada. Por otra parte, estas definiciones sugieren clasificaciones de estos objetos, tales como: grupos difusos (confinados o en equilibrio), grupos compactos y grupos fósiles.

Según Muriel, las técnicas de identificación espectroscópicas pueden proveer información incompleta debido a las velocidades peculiares de los grupos. En el caso de los sistemas masivos, el error es producido por la elongación de estos objetos en la línea de la visual. Estas limitaciones observacionales deben ser consideradas parámetros de la matriz morfológica, tales como las propiedades asociadas a los instrumentos del sistema de observación. Al describir las interacciones informacionales de la fase de Kosso, dadas en la primera columna de la caja [FIG. IV.4], algunos autores ponen énfasis en que la identificación de los cúmulos también posee una dependencia de las técnicas empleadas. Así, Coenda y Muriel (2008) sostienen que

ciertas cualidades físicas de las galaxias miembros dependen de diferentes técnicas de identificación (en rayos X y de secuencia roja) de dos catálogos (ROSAT y MaxBCG) basados en el SDSS. Los resultados a los que arriban estos autores se encuentran expresados de dos maneras: en términos de relaciones binarias de propiedades intrínsecas de las galaxias (tamaño-luminosidad, por ejemplo) y en términos de correlaciones con ciertos atributos físicos del cúmulo (como la distancia al centro del mismo).

De esta manera, muchas de las propiedades de las galaxias, como sus aspectos estructurales, su formación estelar o su brillo superficial, correlacionan con otras pertenecientes a su entorno. No obstante, se desconoce cuál de todas las cualidades observacionales de los miembros, que conforman los grupos y los cúmulos, se adecuan de manera eficaz con su ambiente astrofísico. La estrategia metodológica consiste en seleccionar una o más propiedades de los miembros, establecer relaciones entre ellas e inferir cuáles predice mejor las propiedades del sistema. En esta dirección, Martínez y Muriel (2006) afirman que el color es la propiedad de las galaxias que predice eficientemente la masa del grupo. Esto igualmente resulta al considerar el par de propiedades color-magnitud absoluta. También, el color es el mejor trazador de la distancia al centro del grupo y lo mismo se da al tomar el par color-tipo espectral.

Estas propiedades, y sus variadas relaciones, se corresponden con objetos específicos (como galaxias, grupos o cúmulos) y se hallan representadas por los pares ordenados de la matriz morfológica. Estos pares interactúan informacionalmente con otros, tales como los diversos medios perturbadores extrínsecos e intrínsecos presentes en la fase de Kosso. A diferencia, en la fase de Chang, se muestran los diferentes valores de las propiedades observables de los objetos de cada nivel. Dichos valores posibles son datos observables cualitativos o cuantitativos que correlacionan entre sí, bajo alguna semántica dada por el observador al momento de visualizar la caja de Zwicky. En este sentido, otros autores no necesariamente reconocen las mismas correlaciones que se ajustan a las diferentes interpretaciones, propias de cada investigación. Así, Añorve et al. (2010) sostienen que, aunque exista una fuerte evidencia de la dependencia de las propiedades de los miembros con el entorno, ciertos aspectos estructurales de las galaxias dependen de transformaciones internas y no sólo

de mecanismos astrofísicos externos como la presión de arrastre del medio intra-cúmulo sobre el medio interestelar de las galaxias, fusiones de las mismas o el truncamiento de los halos de materia oscura. Ellos concluyen que las galaxias lenticulares, observadas en una amplia muestra, son el resultado de ciertos procesos dinámicos que transforman los bulbos y los discos de las galaxias espirales del sistema.

Otras investigaciones hacen referencia a diferentes correlaciones que acentúan el rol y la influencia de un entorno local en las galaxias centrales de los cúmulos y de los grupos. De esta manera, Guo et al. (2009) aseveran que la forma y el tamaño de estas galaxias dependen de ciertas cualidades propias (como su masa estelar), de los atributos del entorno global (como la masa del halo del grupo) y del entorno local (como su distancia al centro del halo). Debido a la posición privilegiada que ocupan las galaxias centrales en estos sistemas, ellos concluyen que los aspectos estructurales observados dependen fundamentalmente de la masa estelar de las mismas. Por otro lado, Weinmann et al. (2006) sostienen que las correlaciones entre varios atributos de las galaxias y su entorno en los grupos obedecen a las escalas tomadas bajo consideración. Ellos relacionan algunas propiedades cuantitativas de los miembros, como el color y la tasa de formación estelar, con otras cualitativas, como tipos de galaxias tempranas, tardías e intermedias. A una cierta luminosidad del grupo se observa que la masa del halo decrece y la fracción de galaxias tempranas disminuye, mientras que la proporción de galaxias tardías aumenta. En contraste, dada una masa fija del halo, se observa que la dependencia de estas fracciones con respecto a la luminosidad es débil. Puesto que la masa del halo está basada en la luminosidad del sistema, surge una discrepancia en las correlaciones entre ambas propiedades del entorno y los tipos de galaxias observadas a diferentes escalas. Estos autores concluyen que, aunque los tipos tempranos y tardíos correlacionan fuertemente con la distancia al centro del halo, la fracción de tipo intermedio es independiente con respecto a las cualidades de su entorno.

Hasta aquí, se han integrado diferentes aspectos relevantes de dos caracterizaciones distintas de la observabilidad y se ha realizado un contraste con el método de análisis morfológico. Al considerarse un ejemplo, se ha podido notar la importancia y el alcance de esta herramienta metodológica en las prácticas

astronómicas actuales; en particular, en aquéllas inherentes a la identificación y a la observación de grupos y cúmulos de galaxias. Elaborar aproximaciones morfológicas de los objetos que conforman la estructura del universo a gran escala puede resultar una tarea abrumadora. No obstante, al reconocer los numerosos y variados aspectos que inciden en la observación de tales fenómenos, puede mostrarse el grado de sofisticación del proceso como un todo. Esta metodología observacional es una guía heurística que permite a los astrónomos, en un contexto de búsqueda o descubrimiento, arribar a resoluciones de problemas complejos actuales.

Se sostiene así, que la primera fase de la observabilidad representa el compromiso fenomenológico del observador, mientras que la segunda muestra las correlaciones establecidas por el mismo. Estas últimas son propiedades que, a diferencia de aquéllas presentes en la primera fase, no poseen una referencia causal directa a objetos concretos. Como se mostró, estas propiedades suelen ser inferidas, a través de la matriz morfológica, y son consideradas enunciados observacionales que se corresponden a procesos causales, a pseudoprocesos y a eventos específicos, cuyas causas comunes pueden permanecer ocultas. Así, las aproximaciones arrojadas son patrones observacionales de situaciones particulares y son reconocidos visualmente por un observador con una capacidad inferencial entrenada.

IV.12 Inferencias abductivas

Atendiendo a los diferentes tratamientos filosóficos que ha tenido la distinción entre una observación directa y otra indirecta, y a su vez entre lo observable y lo inobservable, en este apartado se contemplarán ciertas prácticas observacionales indirectas de la astronomía contemporánea. Se explorarán las relaciones, dadas en el proceso de generación de hipótesis, entre los conceptos de evidencia e inferencia y se analizarán sus dependencias con el diseño observacional. A partir del soporte evidencial disponible, existen diferentes maneras de obtener conclusiones y resultados observables. Precisamente, las inferencias observacionales suelen estar ligadas a esquemas de razonamiento muy variados, entre los cuales pueden identificarse tanto mecanismos inductivos como patrones abductivos.

A diferencia de la inducción, la cual permite sólo transferir alguna propiedad física observada en el pasado al futuro inobservado, las inferencias abductivas permiten dar las causas o las razones explicativas de este último a partir de los eventos previamente observados. A los propósitos de este trabajo, se tendrá en cuenta la clasificación propuesta por Schurz (2008), quien sostiene que las abducciones son patrones especiales de inferencias a la mejor explicación y se mantendrá una posición crítica al enfoque estructuralista de este autor.

Al considerarse la distinción entre observabilidad y observación sugerida por Kosso (1988, 1989, 2006) se mostrará que el criterio clasificatorio planteado por Schurz descuida aspectos importantes del diseño observacional que configura la situación abductiva. En particular, a partir de un estudio de caso de la astrofísica estelar, se probará que el salto inferencial de la evidencia a la hipótesis o conclusión inferida está sujeto a la objetividad propia del sistema de observación, es decir, tanto al diseño de los instrumentos y técnicas asociadas a ellos, como a las condiciones iniciales y de contorno que configuran el escenario observacional.

IV.13 Patrones de razonamiento: aspectos generales y criterio de clasificación

Pese a que tradicionalmente Peirce (1878, 1903) distinguió a la deducción, a la inducción y a la abducción como tres clases fundamentales de patrones de razonamiento, muchos autores posteriores diferenciaron subclases e intentaron reducir ciertos esquemas a otros, y viceversa. En esta dirección, a diferencia de la perspectiva pragmatista, Schurz propone tres tesis generales que subyacen en su análisis taxonómico de patrones abductivos.

En primer lugar, él sugiere que la inducción y la abducción son dos familias diferentes de razonamientos ampliativos, los cuales no se reducen unos a otros. Desde esta perspectiva, la inducción no es un concepto abarcativo que incluya todas las clases de inferencias ampliativas no deductivas. Este autor sostiene, al igual que Hume, que la inducción consiste sólo en transferir una cierta regularidad observada en el pasado al futuro inobservado. Aunque ambos patrones de razonamiento pueden extender el conocimiento más allá de lo observado, el objetivo de la inducción consiste

en inferir alguna propiedad determinada a eventos o instancias futuras, mientras que la finalidad epistémica de la abducción consiste en proveer las causas inobservadas o razones explicativas de fenómenos observados. Por ello, dichos esquemas no pueden reducirse. De esta manera, él afirma que, aunque las inferencias inductivas sólo son capaces de introducir novedad, las abducciones además permiten la elección de la explicación más óptima de una multiplicidad dada. Así, este autor establece una distinción general entre abducciones selectivas y creativas, es decir, entre aquéllas que permiten seleccionar las explicaciones posibles y otras que sólo introducen nuevos conceptos, modelos teóricos y causas comunes, respectivamente.

En segundo lugar, en contraste con el esquema de *inferencia a la mejor explicación* (IME) propuesto por Harman (1965), la mayoría de los autores sugieren modificar este patrón de razonamiento debido a la incapacidad de conocer todas las explicaciones posibles de un fenómeno determinado. Incluso Lipton (1991) sugiere que la *inferencia a la mejor explicación disponible* (IMED) puede conllevar a un ámbito especulativo debido a la falta de conocimiento del objeto bajo investigación. Por esta razón, según Schurz, la primera regla no es factible y la segunda no es ampliamente aceptada. De esta manera, él asevera la necesidad de establecer criterios tales como el de mínima aceptación y el de comparación entre las explicaciones abductivas más probables y las más atractivas. Dado que no existe una regla única que permita establecer la calidad de dichas explicaciones, él afirma además que los criterios de evaluación para las abducciones son diferentes para los distintos tipos de abducciones; de ahí su clasificación.

En tercer lugar, dado que la inducción y la abducción son clases distintas de razonamientos ampliativos, Schurz afirma que ambos tipos de inferencias poseen, en diferentes grados, una función justificacional y otra estratégica. Básicamente, la primera consiste en la justificación de la conclusión a partir de las premisas, mientras que la segunda consta en encontrar la conjetura más conveniente que pueda someterse a testeo empírico. A diferencia de la inducción, la función estratégica en las inferencias abductivas es fundamental debido a que puede proporcionar la explicación más corta y prometedora dentro de un amplio espacio de búsqueda de razones y causas posibles en un tiempo finito.

Según Peirce, al igual que las hipótesis inductivas, las abductivas son posibles, aunque estas últimas sólo alcanzan el estatus epistémico de probables a medida que reciben un mayor número de confirmaciones. Esto último tiende a calificar a la abducción como un mecanismo o un procedimiento que se sitúa en un contexto de descubrimiento y cuyo valor de justificación es nulo. Sin embargo, Schurz sostiene que el importante rol estratégico de estos patrones está asociado siempre a una función justificacional débil, mediante la semejanza o similitud con otros patrones más exitosos y plausibles. Según él, los esquemas inferenciales generales, tales como IME o IMED, no proveen reglas heurísticas que guíen eficientemente en el proceso de generación de hipótesis explicativas. Ello se debe a que estas últimas dependen de tipos particulares de escenarios abductivos que las condicionan.

Dado que el rol más importante de las abducciones es el estratégico, el cual permite la exploración tanto de conjeturas posibles como de explicaciones probables a partir de una situación determinada, en las selectivas la dificultad subyace en definir el espacio de búsqueda en función de un tiempo razonable; mientras que en las creativas el problema radica en encontrar sólo una conjetura que se ajuste a las limitaciones requeridas en futuros testeos empíricos y confirmaciones posteriores. De esta manera, Schurz provee un criterio de clasificación basado en tres factores de mayor y de menor relevancia epistémica. Dichos factores posibilitan además que la norma para evaluar patrones sea diferente en cada grupo. Este autor propone tres “dimensiones” para clasificar patrones abductivos: 1) el tipo de hipótesis inferida, la cual puede inicialmente producirse como una conjetura, 2) la clase de evidencia disponible; a partir de la misma se intenta explicar un fenómeno específico y 3) las creencias epistémicas y mecanismos cognitivos que dirigen el proceso abductivo. Sin embargo, desde su perspectiva epistemológica, él considera sólo el primer factor como el más relevante para establecer un criterio taxonómico. Solamente con identificar supuestos, presunciones, opiniones o rumores, es posible modelar cada tipo abductivo como un esquema específico donde la conjetura explicativa más prometedora está determinada estructuralmente. Así, este autor deja de lado las otras dos dimensiones, las cuales son aquí consideradas fundamentales para intentar definir un criterio robusto de clasificación.

Si bien Schurz no desarrolla los dos últimos factores, tampoco los niega. Él sostiene que estas tres dimensiones no son independientes entre sí, o sea, las propiedades de un patrón abductivo pueden también estar sujetas a los valores del segundo y del tercer factor, los cuales se hallan en covarianza con respecto al estatus del primero. Esto significa que la evidencia disponible en conjunto con el conocimiento de base puede brindar el soporte epistémico para el tipo de hipótesis que es abducida. Los procedimientos necesarios para evaluar esta última dependerán de sus características y serán diferentes para cada clase.

Dado que el análisis planteado por este autor está lejos de tener en cuenta grados de evidencia en relación con las prácticas observacionales, la clase de evidencia que él menciona está condicionada a un examen cualitativo. Acorde a los propósitos de esta sección, se analizará el criterio de clasificación propuesto por Schurz, sólo mencionando algunas de sus falencias. En el capítulo siguiente, se desarrollará en detalle ciertas caracterizaciones del concepto de evidencia y su relevancia en dichas prácticas.

Por otro lado, al reconocer la clase de hipótesis que es inferida, Schurz modela patrones abductivos en esquemas que dependen de situaciones conjeturales singulares, es decir, de aquellos ámbitos científicos donde la selectividad es más relevante que la creatividad, o viceversa. Sin embargo, antes de desarrollar su taxonomía, es necesario resaltar que su criterio de clasificación presenta además un serio inconveniente al confundir dos planos conceptuales que subyacen en su análisis; a saber: la observabilidad y la observación. Por esta razón, es necesario revisitar esta distinción y replantearla en sus argumentos a fin de no equivocar un ámbito explicativo con instancias confirmatorias. Esto quiere decir que el tipo de hipótesis inferida posee, además de cierto poder explicativo, la capacidad de ser o no observada y por ende de ser o no testeada empíricamente. Con el objetivo de mostrar que la observabilidad de una inferencia abducida depende de si ésta es observable o inobservable, lo cual no quiere decir que pueda ser observada o inobservada, se considerará la propuesta de Kosso. Como se mostró anteriormente, la observabilidad posee grados de libertad o “dimensiones”, similares a las sugeridas por Schurz, asociadas a interacciones que no son físicas. La intención aquí sólo es mostrar la sofisticación de los procesos

observacionales y sostener que la observabilidad de una hipótesis no se define a partir de una base observacional dada. En otras palabras, que un supuesto, conjetura o presunción abducida pueda ser observable no significa que pueda ser observada y en consecuencia chequeada. En el apartado siguiente se desarrollará la clasificación de Schurz, interpretando la misma a la luz de las distinciones ya mencionadas.

IV.14 Patrones abductivos: identificación y clasificación

Schurz considera las abducciones factuales como una primera clase que incluye hechos observables e inobservables en principio. Los primeros pueden o no ser observados; si lo son, la observación es directa cuando son percibidos o indirecta cuando son percibidos a través de instrumentos de observación. En este tipo de abducciones, tanto la evidencia como la hipótesis abducida se corresponden con casos particulares. Así, la *retroducción* se halla conducida por leyes conocidas que van de las causas a los efectos y la hipótesis inferida tiene una dirección inversa a las implicaciones sugeridas por dichas leyes. Este patrón de razonamiento hacia atrás, suele formar parte del sentido común humano. Según este esquema, a partir de la evidencia arrojada por efectos particulares observados, las causas específicas no observadas pueden ser observables en un marco de leyes conocidas. De esta manera, los procedimientos de testeo consisten sólo en obtener la mayor cantidad de evidencia a la hora de generar la conjetura abducida. De acuerdo a Magnani (2001), este tipo de abducciones es principalmente selectivo y el soporte epistémico proporcionado por el conocimiento de fondo permite incrementar la probabilidad, en contraste con causas posibles alternativas. La evaluación y la técnica de eliminación probabilista es un algoritmo que suele emplearse de manera inconsciente en esta clase de abducciones.

Por otra parte, una de las limitaciones de aquéllas factuales se da cuando éstas involucran variables ocultas o anónimas en los antecedentes de determinadas leyes causales. En estos casos, dichas variables no están contenidas en las consecuencias implicadas por estas leyes. Así, al instanciarse tales consecuencias mediante la evidencia observacional disponible, el razonamiento hacia atrás no permite encontrar la variable correspondiente a la causa o razón observable. Por el contrario, en las

abducciones más comunes de hechos observables, la hipótesis inferida siempre es confirmada posteriormente mediante la observación directa. Sin embargo, existen patrones abductivos de hechos observables donde la hipótesis abducida no es directamente observada. En tales casos, su confirmación también puede ser tanto directa, como indirecta. Ello significa que dicha inferencia puede chequearse con la ayuda de aparatos, o bien, al observarse (directa o indirectamente) sus consecuencias empíricas y efectos producidos. De una u otra manera se obtiene nueva evidencia a favor, la cual es empleada en futuras instancias confirmatorias y aumenta el estatus epistémico de la conjetura inferida. Un subtipo de estos patrones son las abducciones de hechos históricos, donde la hipótesis abducida no es directamente observada dado que corresponde a un hecho del pasado distante.

Por otro lado, Schurz identifica abducciones factuales que incluyen hechos inobservables. En estos casos, la conjetura inferida podría referirse a un inobservable en principio, o sea, al tratarse de una entidad teórica asociada al modelo del fenómeno bajo investigación. En tales casos, la abducción es conducida por teorías y conocimiento de base, y no por leyes. Según este autor, si el conocimiento de fondo no contiene teorías generales, pero sí leyes causales o de implicación, entonces es posible generar conjeturas mediante una retro-inferencia. Esto ha impulsado a que esta clase de inferencias abductivas sean investigadas también en el ámbito de la inteligencia artificial. En esta dirección, Josephson y Josephson (1994) sostienen que la tarea de encontrar la mejor explicación, de todas las posibles, es una actividad ardua y compleja, la cual acarrea un tiempo de búsqueda que incrementa exponencialmente. A fin de evitar la intratabilidad en esta clase de problemas, al aplicar métodos probabilistas de evaluación y de eliminación, los procedimientos inferenciales limitan el espacio de exploración.

Los esquemas abductivos mencionados anteriormente son selectivos y están fuertemente guiados por leyes de implicación. Sin embargo, existen patrones creativos que son conducidos por teorías establecidas, los cuales no forman parte del sentido común humano, pero poseen un importante rol en el razonamiento científico. No obstante, los procesos cognitivos involucrados en estos últimos patrones, permiten la construcción de modelos nuevos. Así, la tarea abductiva consiste en buscar las

condiciones iniciales y de contorno que describan, en el lenguaje de la teoría, las causas posibles del fenómeno considerado. Dichas condiciones son expresadas como enunciados fácticos, cuyo contenido semántico hace referencia exclusiva al modelo teórico del fenómeno bajo investigación. En este tipo de patrones abductivos, el problema no consiste en seleccionar una conjetura posible de muchas otras, dado que la teoría restringe el espacio de búsqueda. La cuestión radica en hallar sólo un modelo plausible que permita derivar el fenómeno que se intenta explicar.

Por otra parte, existe otra subclase de abducciones creativas que permite inferir características nuevas de un objeto observado mediante la introducción de conceptos novedosos. Dichas abducciones, de segundo orden, están guiadas por la extrapolación, la analogía, o por la unificación causal. De esta manera, la hipótesis o conjetura abducida se corresponde a nociones que tienen referencia con ciertas propiedades o atributos físicos de un objeto observado. A fin de explicar el fenómeno bajo estudio, estas nuevas propiedades pueden ser extrapoladas a las diferentes escalas de observación del mismo objeto. En aquellos casos donde la conjetura inferida no pueda ser transferida, el nuevo concepto puede relacionarse y combinarse con otras nociones análogas que compartan las mismas características esenciales de la teoría.

Schurz sostiene que la clase más interesante de abducciones creativas es aquella que está guiada en virtud de la unificación de causas comunes y ocultas. Las mismas pueden involucrar un soporte de evidencias correspondientes a un objeto particular, o bien, a un fenómeno que incluye objetos relacionados entre sí y propiedades interconectadas de éstos. La conjetura inferida en el primer caso sugiere que el objeto observado, directa o indirectamente, es un efecto de una hipotética causa (observable o inobservable); mientras que, en el segundo caso, las regularidades y correlaciones observadas son efectos de una hipotética causa común, la cual también puede ser observable o no observable. En ambos casos la hipótesis abducida puede introducir una nueva entidad, cuya observabilidad dependerá no sólo del tipo de evidencia disponible sino de sus grados o “pesos epistémicos”, los cuales son sugeridos en las bases de datos observacionales. Curiosamente, este autor sostiene que este tipo de abducciones no presupone características idiosincráticas y ningún conocimiento de base, a excepción de aquel necesario para explicar el fenómeno.

IV.15 Ejemplo astronómico: el descubrimiento del medio interestelar

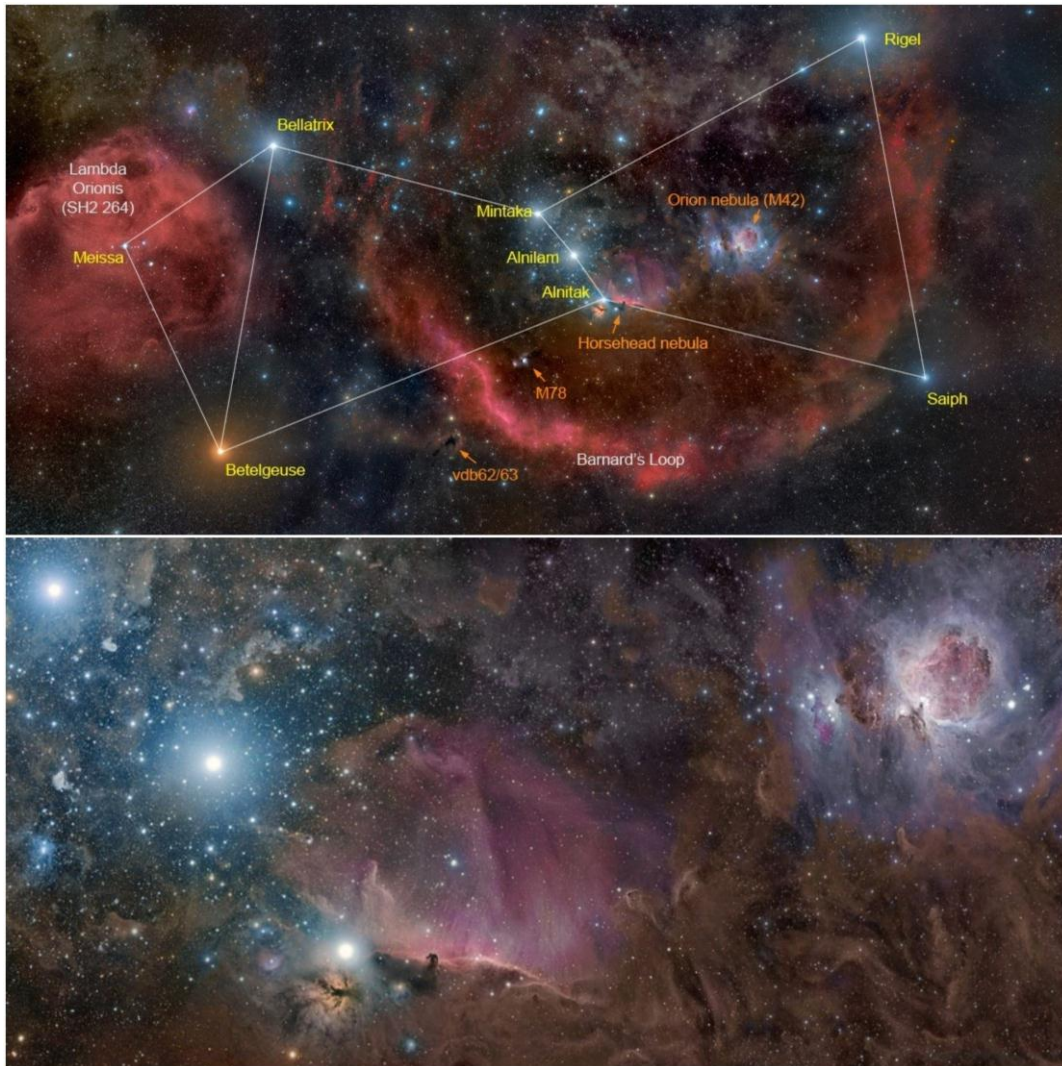
Los primeros indicios sobre la posible existencia del gas interestelar surgieron a partir de los resultados observacionales publicados por Hartmann (1904). Históricamente, la idea que precedió al concepto de *medio interestelar*, introducido por este astrónomo alemán, puede atribuirse a las observaciones llevadas a cabo por William Herschel, más de cien años antes. Este último identificó *nebulosas oscuras* en la Vía Láctea, a las cuales denominó “agujeros en el cielo”.



[FIG. IV.5] NEBULOSAS OSCURAS EN LA VÍA LÁCTEA: SACO DE CARBÓN Y NEBULOSA BARNARD 68.

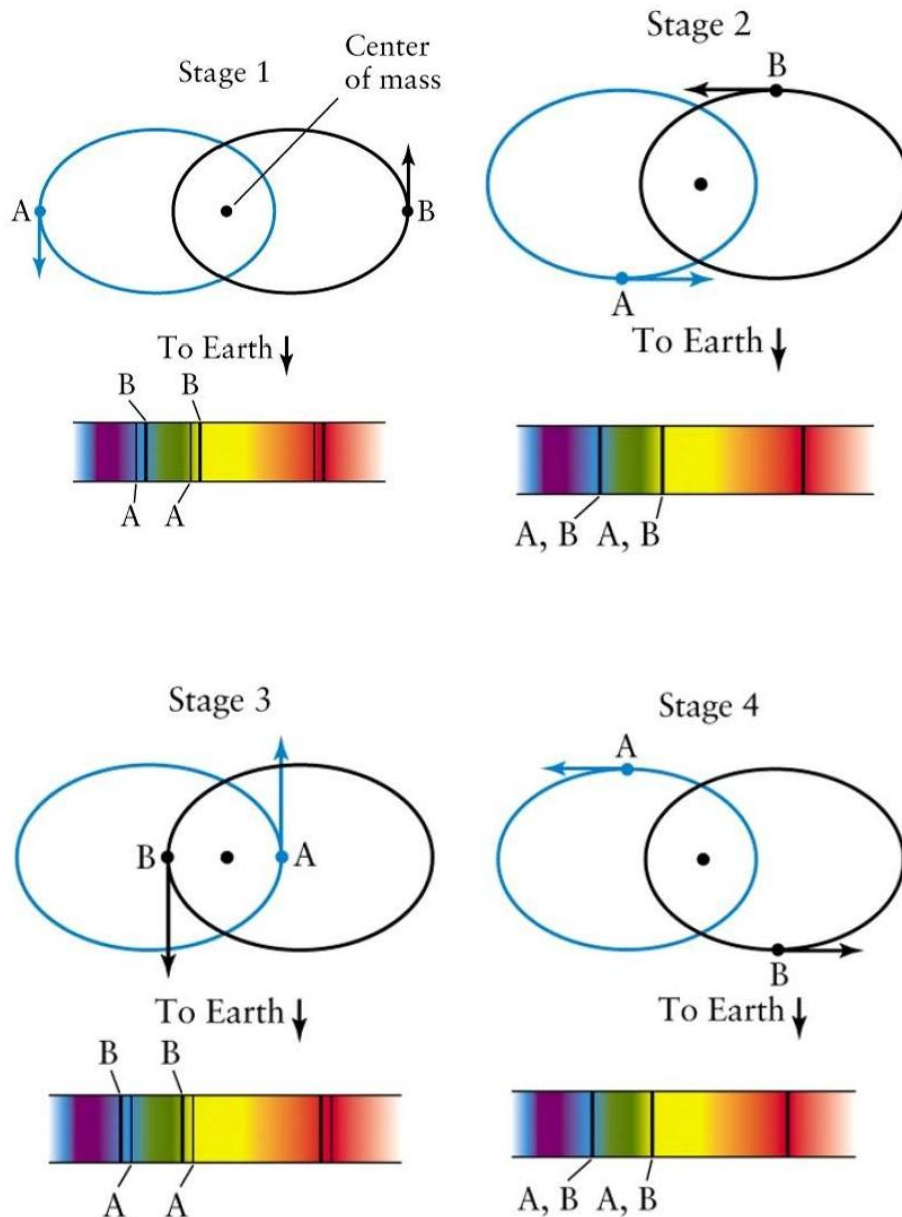
Él se cuestionaba si estas zonas en la bóveda celeste carecían de estrellas, o bien, si la luz proveniente de las mismas era bloqueada por materia nebulosa. En esa época, la idea de nebulosas oscuras era tan sólo una conjetura que se nutría de las inferencias inductivas realizadas por Herschel. Sin embargo, puede identificarse que el patrón de razonamiento empleado en ese entonces era abductivo del tipo selectivo, ya que éste le permitió realizar su modelo del tamaño y de la estructura de la Vía Láctea. Así, este patrón era conducido por leyes empíricas ampliamente aceptadas: la ley de la uniformidad en la distribución de la materia estelar y la ley de la disminución de los brillos aparentes de las estrellas a medida que aumentan sus distancias.

A principios del siglo XX, Hartmann encontró evidencia observacional para afirmar que el espacio entre las estrellas no es vacío. Así, el análisis espectroscópico de la estrella doble δ Orionis (Mintaka) revelaba líneas de absorción de calcio ionizado.



[FIG. IV.6] MINTAKA SE UBICA EN EL MARGEN SUPERIOR IZQUIERDO DE LA SEGUNDA IMAGEN.

Gracias al uso de un espectrógrafo de mayor poder resolvente que los disponibles anteriormente, él observó que la absorción de este elemento químico, en una longitud de onda específica, estaba compuesta por tres líneas de absorción. Dos de ellas presentaban desplazamientos Doppler, hacia el rojo y el azul, correspondientes a los movimientos de ambas estrellas alrededor de un centro de masas común.



[FIG. IV.7] FASES CORRESPONDIENTES A LOS CORRIMIENTOS HACIA EL ROJO Y EL AZUL DE LAS LÍNEAS DE ABSORCIÓN EN UN EVENTUAL SISTEMA ESTELAR BINARIO.

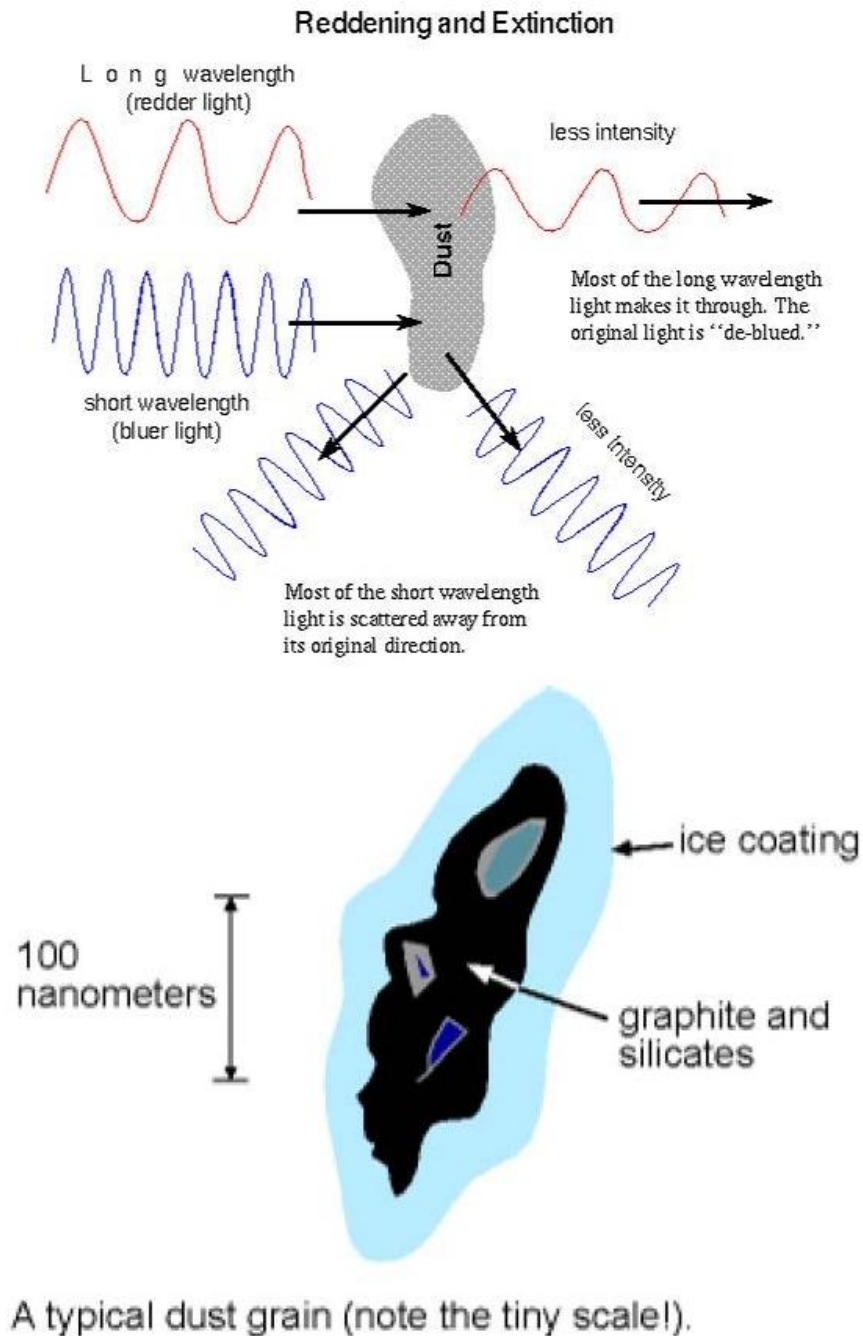
La tercera línea permanecía estacionaria y al no coincidir con la velocidad media de la estrella binaria, ésta se originaba en un fenómeno no asociado físicamente al sistema en cuestión. En esta fase de la investigación puede distinguirse que el patrón de razonamiento abductivo es guiado fuertemente por las teorías astrofísicas, por el conocimiento de base (las leyes de la espectroscopía, etc.) y por los aspectos

idiosincráticos de ese momento. Como se notará a continuación, este patrón oscila entre la selectividad-eliminación de causas hipotéticas observables y la creatividad, al introducir una nueva entidad también observable: el medio interestelar. Julius (1905), quien confirmó al año siguiente la hipótesis abducida por Hartmann con otra estrella binaria (Nova Persei), comenta que este último rechazó la idea de que la tercera línea en cuestión pudiese haber sido causada tanto por la atmósfera terrestre como por el sistema estelar en cuestión. De esta manera, Hartmann elimina estas hipótesis para conjeturar que, en algún punto en el espacio, en la línea de la visual, entre el Sol y Orión, existe una nube de vapor de calcio que se mueve a una velocidad de 16 km/h. Al examinar los espectros de las estrellas vecinas, no se obtiene más información sobre la existencia de esta nube de gas.

Así, a la luz del soporte evidencial disponible, Hartmann concluyó que esta última línea se debía a la presencia de una nube de gas interestelar y no al gas perteneciente a las capas más externas de las atmósferas de las dos estrellas. No obstante, existía también la presunción de que dicha línea pudiera ser causada por el gas circundante (circunestelar), el cual es arrojado al espacio en la forma de viento estelar. Este último es producido en gran parte por eyecciones de masa coronal y en menor medida por la presión de la radiación electromagnética, o sea, por ciertos efectos de la luz sobre las partículas que conforman el gas ionizado producido en la fotosfera de cada estrella. Sin embargo, la resolución de los instrumentos y las técnicas empleadas por Hartmann le permitieron inferir que la temperatura de la línea espectral estacionaria era menor a aquéllas de las líneas correspondientes al sistema binario. Así, la hipótesis abducida sugería que la causa observable, la cual producía el efecto observado en la tercera línea de absorción, se correspondía a una nube de gas interestelar frío situada entre la Tierra y la estrella doble.

El descubrimiento de Hartmann, del medio interestelar, introdujo una nueva entidad en la astronomía de principios del siglo pasado. Esto abrió las puertas a investigaciones futuras que confirmaron esta hipótesis y que dieron lugar a observaciones de diversas nubes ubicadas aisladamente a lo largo de la línea de la visual. Además, esta noción se enriqueció con el hallazgo de Robert Trumpler (1930),

del polvo interestelar a partir de la absorción de la luz proveniente de los cúmulos abiertos de estrellas.



[FIG. IV.8] ENROJECIMIENTO, EXTINCIÓN DE LA LUZ Y ESTRUCTURA DEL POLVO INTERESTELAR.

En esta última etapa de la investigación el patrón abductivo es altamente creativo, siendo fuertemente dirigido en virtud de la unificación causal. A medida que las

evidencias disponibles fueron cobrando importancia, el medio interestelar dejó de ser una mera conjetura para convertirse en una hipótesis de relevancia epistémica. Esta entidad dinámica involucra tanto la materia estelar (gas y polvo) y sus diferentes estados, como las fuentes de energía (campos de radiación y campos magnéticos) que intervienen en ella. Asimismo, la caracterización del medio interestelar resultó ser crucial en las discusiones en torno de la teoría de los universos isla y de los modelos de la Vía Láctea, las cuales desencadenaron el surgimiento de la astronomía extragaláctica.

A partir de este estudio de caso, puede notarse que el patrón abductivo utilizado por Hartmann es tanto selectivo como creativo. Su descubrimiento fue guiado tanto por teorías que le permitieron modelar un fenómeno determinado, como así también por la unificación de causas que le posibilitaron la introducción de un nuevo concepto. Por un lado, además de las teorías astrofísicas de la época, el modelado de la estrella binaria requirió de la búsqueda de condiciones que puedan describir, en el lenguaje del marco teórico, las causas posibles de la evidencia espectroscópica obtenida. Son condiciones iniciales si el sistema estelar es doble o múltiple, la clase espectral de cada estrella, sus masas, temperaturas, luminosidades, etc. Las condiciones de contorno están supeditadas tanto a la presencia de calcio ionizado en las atmósferas de ambas estrellas y en el medio circundante a ellas, como al tipo de movimiento de sus órbitas. Por otra parte, la hipótesis abducida sobre el medio interestelar permitió dar una explicación plausible de la línea estacionaria, estableciendo una hipotética causa común observable con líneas espectrales similares de otros objetos, tales como el investigado por Julius.

A diferencia del criterio de clasificación propuesto por Schurz, este ejemplo muestra que existen condiciones que trascienden al modelo del fenómeno observado y se hallan ligadas al diseño de una observación; en particular, a los instrumentos y al escenario observacional. El objetivo aquí consistió en rescatar uno de los dos aspectos epistémicos descuidados por Schurz, tal como un tratamiento de la observación más sensible a las prácticas científicas. El otro aspecto asociado se remite al concepto de evidencia, el cual será analizado en una de las secciones del próximo capítulo. A fin de replantear su análisis con respecto a su criterio taxonómico, fue necesario reconsiderar

la distinción, sugerida por Kosso, entre observabilidad y observación. A partir del ejemplo astrofísico tomado en cuenta, se ha mostrado que el mecanismo abductivo está sujeto a la objetividad propia del sistema de observación, el cual permite el salto inferencial de la evidencia a la hipótesis. No obstante, pese a la reformulación que se ha intentado hacer aquí de este criterio, el ejemplo también ha mostrado una metamorfosis considerable de las clases de razonamientos abductivos involucrados. Por esta razón, no resulta nítida una categorización de estos patrones en aquéllos estudios de casos que presentan un alto nivel de sofisticación en sus procesos observacionales, sobre todo a la hora de generar el soporte evidencial necesario.

IV.16 Observabilidad, procesos y pseudoprocesos en la observación y en la simulación en astrofísica

La observabilidad ha sido caracterizada a partir de la dicotomía entre entidades observables y entidades inobservables. Algunos sostienen que no hay un criterio de distinción que sea lo suficientemente robusto y, en consecuencia, proponen la idea de un “continuo unidimensional” entre tales entidades (Maxwell, 1962). Otros, en cambio, proponen esquemas diferentes de esta dicotomía (van Fraassen, 1980) y varios se alejan de esta distinción poniendo énfasis en las interacciones físicas y definiendo “lo que cuenta como observable” (Shapere, 1982). 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, como se mencionó antes, Kosso sostiene que la observabilidad posee grados de libertad o dimensiones asociadas a interacciones que no son físicas. En términos generales, esta postura afirma que la observación consiste en obtener información del mundo, considerando su transmisión desde la fuente hasta el observador. Cabe destacar que este autor distingue dos procesos, es decir, la naturaleza de la señal transmitida y la señal 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 respectivas propiedades observables. Aunque Kosso sostiene que la observabilidad está relacionada a las cualidades o atributos cuantificables, como ya se dijo, Chang (2004) considera que en este vínculo sigue habiendo una fuerte dependencia de los objetos físicos. Según este último autor, 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. Estos tratamientos sugieren un corrimiento de nociones de la observabilidad basadas exclusivamente en objetos a otras que contemplan procesos que incluyen propiedades y relaciones entre ellas. Esta postura diluye, en parte, el debate realismo-antirrealismo en la astrofísica, no obstante, conlleva a la aceptación de un realismo de propiedades observables (Humphreys, 2004).

En esta dirección, y a los propósitos de este apartado, se considerará la propuesta de Humphreys en torno al rol crucial de las propiedades en ciertas prácticas observacionales en consonancia con algunos tratamientos apropiados sobre distinciones entre procesos y pseudoprocesos causales (Salmon, 1984; Dowe, 2000; Quezada, 2002, 2011). Al considerarse el caso de los sistemas de lentes gravitacionales, los cuales serán desarrollados apropiadamente en la primera sección del capítulo siguiente, se investigará un concepto de observabilidad sujeto a propiedades obtenidas, no sólo por la vía tradicional, sino a través de simulaciones astrofísicas. De esta manera, se sostendrá que tal noción abarca los pseudoprocesos, tanto observacionales como computacionales, destacando la importancia de las simulaciones en los sofisticados procesos de observación astronómica.

IV.17 Observabilidad y empirismo científico.

El empirismo constructivo ha sido uno de los enfoques alternativos al realismo científico más destacados de las últimas décadas. Para algunos críticos, esta perspectiva ha revivido la tradición de salvar los fenómenos, al aceptar una teoría científica y dejar de lado aquellas creencias epistémicas que aluden a las entidades inobservables postuladas por la misma (Vollmer, 2000). van Fraassen sostiene que la existencia de tales inobservables descansa, en última instancia, en una inferencia injustificada con respecto a la teoría que los postula y es entonces por ello que esta última no es empíricamente adecuada. Por este motivo, otros autores afirman que la observabilidad no es un criterio lo suficientemente robusto para dar sustento a los compromisos ontológicos en ciertas ramas de la ciencia (Contessa, 2006). Así, si las teorías son verdaderas, es decir, adecuadas con respecto a lo que es observable, el compromiso basado en esto último no es menos dudoso que aquél apoyado en lo que no es observable. De esta manera, el empirismo constructivo asume que la creencia en la existencia de entidades inobservables es inadmisible, ya que la misma no está justificada por la observación de tales entidades. van Fraassen critica la distinción entre términos teóricos y términos observacionales establecida por el empirismo lógico. Él sostiene que esta dicotomía surge de dos problemáticas bien diferentes. Por un lado, de la posibilidad de diferenciar términos teóricos de no teóricos; por el otro, de identificar objetos y propiedades y poder clasificarlos como entidades observables o inobservables. Este autor afirma la imposibilidad del primer problema, dado que todo el lenguaje de la ciencia está infectado de teoría. Con respecto al segundo, sostiene su viabilidad sobre la base de lo que puede y no puede ser observable. Así, este último término define, a través del acto humano de la percepción (sin asistencia instrumental), qué entidades pueden o no existir. Como van Fraassen asevera, la distinción observable/inobservable radica en identificar algunos de los actos humanos como observaciones, distintos de aquéllos como la capacidad de cálculo, por ejemplo. De esta forma, un acto de observación prototípico no está mediado ni instrumental ni conceptualmente. Según él, la mayoría de los instrumentos científicos detectan entidades, en este sentido, la detección es diferente a la observación. Ello significa que

dichos aparatos no permiten una observación (directa) del fenómeno en cuestión, sino que posibilitan su acceso epistémico, es decir, los instrumentos producen una representación visual del objeto, la cual es observada, o sea, percibida por el agente humano (Azzouni, 1997, 2004; Psillos, 2004). Por lo tanto, un sistema instrumental no extiende el rango de lo que este último puede observar, sino más bien, crea una serie de fenómenos que deben ser explicados cuando tal agente observa las imágenes logradas a través de dicho sistema (van Fraassen, 2002). Otra característica importante del acto prototípico es no presuponer que el observador posea algún concepto o información afín al objeto que está observando. En otras palabras, cualquier creencia o conocimiento del sujeto con respecto a lo que es la entidad observada, no es condición necesaria para tal acto. Dado que para el empirismo constructivo es crucial no confundir entre “observar” y “observar que”, esto es, entre una observación pura (o pre-teórica) y otra que no lo es, no niega la eventualidad de actos de observación mediados conceptualmente, aunque no sean prototípicos. La distinción entre observables e inobservables es fundamental a la hora de sostener las tesis principales del empirismo constructivo. De esta manera, la ciencia tiene como objetivo proveer teorías adecuadas, más que verdaderas. Así, aceptar una teoría significa creer que es empíricamente adecuada, es decir, que lo que la teoría describe o dice acerca de lo que es observable para los humanos es verdadero (van Fraassen, 1980). En este sentido, para este tipo de empirismo, el alcance de lo que es observable coincide con lo que es epistémicamente accesible a la percepción humana; lo que es observable determina tanto las expectativas de las teorías, como el grado de creencias involucradas para su aceptación.

La distinción tajante, antes mencionada, ha sido utilizada como línea divisoria entre lo que es y no es evidencia aceptable para el empirismo, el cual intenta mantener las garantías epistémicas en base al conocimiento adquirido por la experiencia, a través de los sentidos. No obstante, 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 han dejado de existir, es decir, las creencias asociadas a ellos fueron abandonadas, por ejemplo. Trazar la división entre lo observable y lo inobservable, al estilo del empirismo, conduce inevitablemente al

problema del respaldo epistémico involucrado. Según este autor, la problemática no proviene del estatus intrínseco de lo que es observable, o no, sino de cómo los detectores son empleados para garantizar el conocimiento adquirido. Ningún método de detección es completamente confiable; sin embargo, la superioridad de los instrumentos con respecto al aparato perceptual humano es ampliamente aceptada. No obstante, la mayoría de las versiones empiristas aceptan el rol crucial de la experiencia, la cual alude a aquello que se le presenta al sujeto, estimulando su sistema sensorial. Dado que el criterio de observabilidad está atado a observadores ideales en perfectas condiciones, no hay forma de diferenciar un criterio en principio de otro que tenga en cuenta las habilidades perceptuales que se requieren en la misma práctica.

Humphreys afirma que una división contundente entre observables e inobservables es errónea, ya que no logra captar la importancia de lo que cuenta como observable en la ciencia actual. Así, tal línea divisoria no está fija y de hecho su corrimiento se define a partir de los avances y adelantos tecnológicos de los sistemas instrumentales. En esta dirección, este autor 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. De esta manera, una entidad inobservada en un momento, puede hallarse en otro, disponible para su inspección directa. En otras palabras, él sostiene que cuando una entidad se observa, la misma posee la propiedad disposicional de ser observable, dado que es posible crear una situación dentro de la cual es observada. Pero si dicha entidad tiene esa propiedad cuando no se está observando, siguiendo el criterio empirista, continúa siendo un observable. Así, la misma cruza el límite de lo no observado a lo observado e igualmente, en la dirección opuesta. Este corrimiento, de un extremo al otro, define la continuidad de la existencia de ciertos tipos de entidades, aun cuando se hallen en el reino de lo inobservado. (Humphreys, 2004). En consecuencia, la observación a través del empleo de instrumentos justifica las afirmaciones acerca de aquellas entidades que han permanecido ocultas a la percepción humana. Esta justificación es posible mediante el “argumento de la disolución”. Humphreys asevera que no es el movimiento en sí, de lo visualmente observado a lo visualmente inobservado y viceversa, lo que justifica las creencias sobre la existencia de un fenómeno físico, sino la instrumentación

disponible. Precisamente, a partir de esta última, se logra la evidencia instrumental que sirve como base a la hora de postular la continuidad de la propiedad de un objeto dado. De esta manera, se deja de lado la perspectiva empirista, la cual restringe la conformación del soporte evidencial al sistema perceptual humano.

El argumento mencionado antes no es general, sino uno específico para definir la existencia de entidades que son inobservadas. En este sentido, hay objetos observables que son observados y pasan a ser inobservados debido a una transformación de su estado físico. Por ejemplo, una entidad puede pasar de ser visualmente observada a ser visualmente inobservada, pero puede seguir siendo observada a través de otro de los sentidos humanos. De este modo, dicha entidad sería verificable y aceptable para el empirismo. Sin embargo, Humphreys sostiene que esta inferencia puede estar equivocada, ya que, durante el cambio de un estado físico a otro, el objeto dejaría de existir como tal; incluso, aunque se intentara restituir su visibilidad, a partir de ciertas técnicas experimentales, no sería el mismo. Ello significa que algunas de las propiedades físicas asociadas al objeto, pueden ser alteradas de tal forma que se pierden, o bien, se transforman en otras. No obstante, este autor destaca la necesidad de un supuesto de identidad que garantice la inferencia de una continuidad en la existencia del objeto mientras se dé un cambio de estado, fase o magnitud física que pueda variar algunas de sus propiedades observadas. Lo más importante, según él, es conocer los procesos causales involucrados, los cuales generan dichos cambios, permitiendo preservar la identidad de la entidad en cuestión. La necesidad de este conocimiento específico hace que tal argumento no pueda aplicarse de forma general, aunque sí puede ser chequeado a través de otro llamado el “argumento de superposición”. Esta clase de argumento establece un solapamiento entre observaciones simultáneas que respaldan que lo que se observa son propiedades del mismo objeto. Así, el acceso instrumental provee las garantías epistémicas que establecen, de una vez, que la línea de demarcación entre observables e inobservables es continua y no está fija.

Más allá de la caracterización que Humphreys propone sobre los instrumentos, precisamente sobre los tres aspectos de la detección (exactitud, precisión y resolución), cabe destacar que las capacidades del sistema sensorial humano pueden ser

consideradas como tipos de instrumentos peculiares, a veces más eficientes que los detectores artificiales. Aunque la percepción natural posee cierto grado de eficacia en ámbitos específicos, los sentidos se hallan limitados en los dominios de la ciencia que demanden una aproximación cuantitativa y no cualitativa de la detección; sobre todo al llevar a cabo mediciones de cantidades en aquellas observaciones que lo requieran. De todas maneras, uno de los rasgos característicos de los sistemas instrumentales es que poseen la capacidad de establecer vínculos entre los observadores y aquellas propiedades que presentan los objetos físicos, las cuales suelen ser inaccesibles a la percepción. En este sentido, la observación suele llevar no sólo a la detección de propiedades cuantificables, a través de aparatos artificiales, sino a la captación natural de atributos de forma cualitativa. Siguiendo con el argumento de solapamiento propuesto por este autor, a partir de un rango inicial de observaciones, validadas a través del sensorio humano, las mismas son extendidas por los instrumentos. El quid de la cuestión es poder justificar estas últimas observaciones que se hallan fuera, no sobreponiéndose al reino de los sentidos. Así, un uso efectivo de los instrumentos podría facilitar, al proveer información adecuada acerca de las propiedades de un objeto detectado, la justificación de aquellas entidades inalcanzables a la percepción.

IV.18 Realismo de propiedades

Humphreys sostiene que los instrumentos producen imágenes que representan propiedades físicas particulares de un objeto observado. Estas propiedades causan ciertos efectos físicos en el sistema instrumental, permitiendo, luego de su detección, un registro permanente de ellas. Ante la variedad de procesos causales, inherentes a mecanismos de producción de datos eventualmente diferentes, los atributos observables se presentan en dicho sistema para ser, posteriormente, representados en una imagen epistémicamente accesible. Más allá de la distinción entre datos crudos y datos procesados, precisamente, entre datos instrumentales y datos observacionales, este autor afirma que para interpretar una imagen dada es necesario conocer no sólo lo que ella representa, sino saber cómo ha sido producida. Por otra parte, él asevera que son las propiedades, detectadas por los aparatos, las que son observadas y no los

objetos en sí. De esto último se sigue que un objeto es observado sólo a través de sus propiedades o atributos físicos. Así, la clase de objeto que está siendo observado puede depender de qué propiedad está siendo detectada. Humphreys propone, de esta manera, un realismo cuyas entidades se hallan constituidas por grupos de propiedades relacionadas y correlacionadas entre sí. En esta dirección, el descubrimiento de los procesos causales subyacentes a los objetos observados consiste en emplear instrumentos específicos que detecten uno o más atributos, usando las técnicas y auxiliares observacionales disponibles. Lo principal, en este contexto, es alcanzar el entendimiento sobre el hecho o la situación de lo que, ocasionalmente, es la causa del fenómeno observado. A medida que se adquieren más conocimientos al respecto se descubren, gracias a los adelantos tecnológicos, nuevas propiedades y relaciones entre ellas que han permanecido ocultas hasta ese momento. Lo que Humphreys está mencionando aquí, consiste en definir las capas de cualidades o de atributos inmersos en el grupo de propiedades observadas a partir de detectores muy variados. En este sentido, los diversos vínculos que pueden guardar dentro de este cúmulo dependerá en última instancia de los tipos de mediciones logradas; esto es, diferentes estándares de medición dejarían abierta la posibilidad de medir una propiedad, pero de distintas maneras.

La razón por la cual los instrumentos son detectores de propiedades se debe a que los mismos están diseñados para ser capaces de repetir las mediciones de fenómenos físicos dados en lugares y momentos específicos. Según Humphreys, los aparatos detectan los atributos observables en sí, pero no sus instancias espacio-temporales. En otras palabras, él considera que el proceso de detección de una propiedad está desvinculado de su ubicación física. Sin embargo, dichas propiedades inician el proceso causal que va desde el fenómeno particular observado, a través del sistema instrumental que codifica la información, hasta la producción de una imagen que es accesible al sensorio humano. Las transformaciones que acontecen dentro de tal sistema son detalladas por la teoría inherente a esos procesos causales, la cual describe la entrada y la salida de los aparatos y de los auxiliares asociados. Así, la producción de datos ruidosos es controlada tanto en la fase de adquisición como de procesamiento, o sea, tanto en la reducción como en la interpretación de los mismos.

Más allá de esto último, este autor sugiere que el uso de los aparatos no sólo provee evidencia de lo que una entidad es, la cual da origen a lo que se observa, sino que el instrumento además brinda una representación aproximada del fenómeno en cuestión. Esta confiabilidad es alcanzada mediante las teorías que describen cómo opera el instrumento, a fin de descartar cualquier salida errónea en la generación de datos. Por lo tanto, al tener una comprensión general de la funcionalidad del sistema instrumental, se obtiene el control de ciertas partes dentro del proceso observacional, el cual es dominado por un marco teórico determinado. Las imágenes crudas o directas no son las que proveen la información más relevante de lo observado, sino aquella representación visual que ha sido manipulada o procesada de alguna u otra manera. Al emplear técnicas de visualización científica, las composiciones de imágenes producidas por diferentes detectores proveen información adicional sobre los atributos físicos representados. Así, los cambios de representaciones visuales conducen, eventualmente, a la resolución de un problema en un contexto de búsqueda de nuevas cualidades observacionales. De esta forma, el soporte evidencial está garantizado por el conocimiento adquirido en las prácticas observacionales. En este sentido, considerando la sofisticación de los procesos involucrados, la dependencia teórica de la observación es una virtud, más que un defecto.

Por otra parte, Humphreys enuncia un “principio de localización de la propiedad”, el cual afirma que: cada instancia de una propiedad causal posee toda la fuerza causal de esa propiedad (Humphreys, 2004). De esto se sigue que, al comprometerse ontológicamente con tipos de relaciones causales diferentes, no son los objetos sino sus propiedades los que causan los efectos que pueden ser observados. Así, en la clase de causalidad incluida en los procesos físicos de los sistemas instrumentales convencionales, como también en aquélla de los sistemas computacionales, por ejemplo, las propiedades pueden ser observables por una u otra vía, respectivamente. En consecuencia, no son las instancias espacio-temporales las que causan tales observables, sino las propiedades o atributos en sí. Incluso, tales efectos pueden ser producidos por un grupo de propiedades combinadas y no sólo por una cualidad aislada. Cabe destacar aquí que lo epistemológicamente relevante es considerar, por un lado, la reproductibilidad de los resultados, hecho que se apoya en que un efecto

detectado puede darse en más de una ubicación posible; por el otro, la universalidad de las leyes físicas, donde ninguna referencia concreta es en principio establecida ya que restringe el alcance de las mismas. La mayoría de estas leyes son las que describen tanto los vínculos causales, como las correlaciones entre propiedades de fenómenos observados.

IV.19 Procesos y pseudoprocesos causales: datos observacionales y datos simulados

La mayoría de las investigaciones filosóficas actuales, en torno a la identificación de procesos genuinos y no genuinos en la física moderna, parten de la caracterización clásica de Reichenbach. Más precisamente, esta última asume que los pseudoprocesos quebrantan ciertos principios, de la teoría de la relatividad especial, como la constancia o permanencia de la velocidad de la luz (Reichenbach, 1958). Al explorar la extensa literatura que aborda esta problemática y a los propósitos de este apartado, sólo se mencionarán a continuación algunas de las discusiones más afines al momento de establecer un criterio adecuado para distinguir entre procesos y pseudoprocesos causales. Una de las críticas más contundentes a esta perspectiva tradicional es el criterio Dowe-Salmon (Salmon, 1984; Dowe, 2000), el cual postula que un proceso para ser causalmente válido debe poseer una cantidad conservada, conforme a las teorías físicas admitidas. A fin de no entrar en detalles técnicos, lo que se sostiene aquí es que los pseudoprocesos son considerados meras ilusiones y, al no poseer ninguna importancia metodológica ni epistemológica, deben ser descartados de cualquier ontología procesual aceptable. No obstante, Quezada y Pavez (2011) rechazan esta última postura y reconocen el valor epistémico que los pseudoprocesos tienen en las prácticas observacionales/experimentales a la hora de llevar a cabo mediciones de ciertos fenómenos. Estos autores analizan cómo las ilusiones físicas, como las sombras o los espejismos, invaden la experiencia cotidiana. Aunque para ellos tales apariencias se basen en entidades físicas, las mismas ofrecen información poco confiable. Como la existencia de estas ilusiones es dudosa, y de allí su poder ficticio, podrían ser llamadas pseudoentidades. Sin embargo, según estos autores, sus alcances epistémicos las alejan del reino de las sombras. Con lo mencionado en los apartados anteriores, resulta

claro que ellos están considerando que las entidades son sólo objetos y no propiedades. Más allá de si aceptarían, o no, un realismo de propiedades, cabe notar que dejan de lado la posibilidad de que tales entidades sean sólo ficciones. Pese a que los atributos o cualidades detectadas desencadenan procesos causales genuinos, cada uno de éstos puede ser identificado como un pseudoproceso a la luz del fenómeno que se intenta observar. En otras palabras, la detección de propiedades físicas muy variadas, a través de plataformas multi-instrumentales, permiten la adquisición de datos a partir de una diversidad de mecanismos de producción. Estos últimos, como se hizo notar anteriormente, posibilitan la obtención de la información observacional del objeto de estudio. Cada uno de estos mecanismos son considerados aquí pseudoprocesos causales, los cuales son, en sí mismos, procesos físicos no vinculados causalmente con otros. Quezada y Pavez hacen un recorrido histórico sobre cómo, a través de un pseudoproceso, se logran mediciones de magnitudes físicas inherentes a un proceso peculiar, o sea, a través de un pseudoproceso electromagnético se observa un proceso causal gravitatorio, por ejemplo.

A los fines aquí presentes, esta perspectiva permite examinar el estatus de los datos logrados mediante las observaciones, como aquellos obtenidos por vía de las simulaciones computacionales. En esta dirección, al ignorar los orígenes de cómo se generaron los datos, es posible su reemplazo e intercambio. Siguiendo a Humphreys, estos datos pueden ser clasificados como datos empíricos, es decir, aquellos que tienen un origen concreto y son producidos por las interacciones físicas con los dispositivos de medición, y datos sobre (*about*) que contienen información acerca del modelo del fenómeno bajo investigación. Aunque los datos(a) pueden proveer información sobre las fuentes causales que dan origen a los datos(e), no hay una clara referencia a ellos. Este autor afirma que los orígenes de los datos, sean o no materiales, son insuficientes para definir el contenido de los datos(a). De esta manera, él propone extender la categoría de los datos empíricos a datos sobre el origen e incluir aquellos provenientes de fuentes computacionales. Así, él plantea dos clases de aparatos. Por un lado, los instrumentos causales no computacionales reciben un proceso físico, como señal de entrada, el cual interactúa de manera tal que provee otro igual, como señal de salida. Por otro lado, los instrumentos causales computacionales

operan de forma similar, salvo que, en algún punto de la interacción, la señal física se transforma en otra digital antes de producir la señal de salida. Es importante destacar que estos últimos aparatos involucran aspectos causales no sólo por la naturaleza de sus inputs, sino por las implementaciones computacionales llevadas a cabo durante el proceso. Humphreys sitúa a dichos instrumentos entre aquellos puramente causales y las simulaciones. Esto se debe a que, en el mismo proceso computacional, se emplean inferencias inversas que permiten cerrar la ida y vuelta entre el detector y la fuente de los datos. Dado que la dirección de la causalidad se invierte, o sea, del output al input, esto no quebranta los procesos causales de tales instrumentos a la hora de obtener propiedades y asignar atributos observables. Así, el conocimiento que se obtiene de los procesos físicos y de los computacionales, involucrados en la producción de los datos, es útil tanto para su adquisición y reducción como para su procesamiento e interpretación. Los ruidos que provienen de los datos instrumentales, como también los errores que surgen de los datos computacionales, pueden ser eliminados a partir de métodos físicos o numéricos, discriminando así información relevante de irrelevante. Humphreys sostiene que el contenido informacional de los datos(a) puede referirse tanto al mecanismo de producción que los genera, como a las interpretaciones que se hagan de ellos en base al modelo del fenómeno que se está observando. Según él, este análisis puede ser replanteado en el ámbito de las simulaciones. De esta manera, el contenido de los datos(a) se referirán a su origen, es decir, al modelo en el cual se basa la simulación; o bien, a la interpretación que se haga a luz del modelo del fenómeno simulado (Humphreys, 2013).

IV.20 Lentes gravitacionales en astrofísica: observaciones y simulaciones

A partir de la problemática en torno a la posibilidad de sostener una posición realista, o bien otra antirrealista en la astronomía, surge la necesidad de examinar los criterios de observabilidad subyacentes y de explorar aquéllos que intentaron zanjar el mismo debate. Al considerar el estudio de caso sobre los sistemas de lentes gravitacionales, Hacking declaró su postura antirrealista en la astrofísica (Hacking, 1989), la cual generó por cierto controversias por parte de aquellos filósofos de la ciencia que intentaron

rebatir su posición (Shapere, 1993). Esta controversia, la cual se analizará minuciosamente en el capítulo que viene, se centraba en una noción de observabilidad basada sólo en los objetos, pero no en sus propiedades o cualidades, ni en las relaciones entre sus atributos observables. En pocas palabras, una lente gravitacional se produce cuando la radiación electromagnética emitida por uno o varios objetos lejanos, como galaxias brillantes o cuásares, recorre el espacio y en su camino, entre la fuente emisora y el receptor, se antepone otro objeto masivo (visible o, invisible) que perturba la señal original curvando los rayos de luz provenientes de dicha fuente. Sin entrar en detalles técnicos, las galaxias masivas, los agujeros negros o la materia oscura son ejemplos concretos de objetos que pueden provocar la deflexión de los rayos de luz. Si la lente coincide y se halla en la línea de la visual, entonces el observador notará una distorsión en forma de anillo o halo correspondiente a uno o más objetos de fondo; pero si ésta se encuentra desplazada de dicha línea, el observador se percatará de imágenes múltiples de la fuente emisora, apareciendo en dos o más direcciones rodeando al objeto perturbador. En ambos casos, las lentes no sólo distorsionan las imágenes de los objetos en cuestión, sino que además permiten su magnificación, aun cuando la energía de la señal original disminuye. De esta manera, un sistema de lente gravitacional se halla conformado por un observador o receptor, una o varias fuentes emisoras, un objeto masivo que perturba e intermedia entre ambos y condiciones (iniciales y de contorno) que configuran el hecho observacional. En el universo se observan diferentes tipos de lentes: fuertes, débiles o micro-lentes. Las mismas son identificables y comúnmente observadas con los instrumentos vigentes. Por un lado, las propiedades de lentes fuertes y débiles proveen una valiosa información que les permite a los astrónomos investigar la distribución de masas de las galaxias, de grupos y cúmulos de éstas, y evaluar parámetros cosmológicos fundamentales como la tasa de expansión del universo (constante de Hubble), entre otros. De esta manera, dichas lentes posibilitan la indagación sobre el faltante de masa en el universo observable; sin embargo, ellas pueden poblar al mismo de “artefactos naturales” o espejismos. Estos sistemas, al exhibir múltiples imágenes de un objeto específico, conllevan a un ámbito estrictamente observacional que depende, como se mencionó antes, de la misma situación de observación. Lo que se quiere remarcar aquí

es la necesidad, por parte de los astrónomos, de desarrollar prácticas que permitan utilizar los sistemas de lentes como auxiliares para poder observar los objetos que conforman dicho sistema. Al calcular la probabilidad de su ocurrencia, los efectos fuertes y débiles de lentes gravitacionales comenzaron a cobrar interés, contrariamente a la tesis de Barnothy, la cual los consideraba espejismos. Por otro lado, las micro-lentes gravitacionales son actualmente consideradas “telescopios cósmicos” por su poder de magnificación para el descubrimiento de planetas extrasolares, principalmente. Estas mini-lentes son más difíciles de identificar. Esto se debe a que los objetos intermediarios que componen dichos sistemas se hallan a grandes distancias y suelen ser opacos, es decir, que no emiten luz propia y sólo la reflejan, o bien, si emiten luz, son muy difusos. Así, estrellas de baja masa, enanas marrones (sub-estelares), planetas u objetos astrofísicos compactos (MACHOs) pueden conformar un sistema de micro-lentes que no producen imágenes múltiples, pero sí “lentean” los objetos de fondo del sistema al aumentar considerablemente su brillo, entre otras características observables. Con respecto a las lentes fuertes y a las débiles, ambas son empleadas en el modelado de cúmulos de galaxias en interacción que admiten halos de materia oscura, tales como el *Bullet Cluster*. Sin embargo, por una parte, al llevar a cabo simulaciones que involucran lentes fuertes, no se intenta chequear la naturaleza de las mismas, dado que se dispone de toda la información *a priori* respecto a las condiciones iniciales, campo de densidades observado, etc. Este tipo de simulaciones son usadas sólo para validar tanto las observaciones como las simulaciones, reproduciendo fenómenos similares (Bozzoli y Stasyszyn, 2018). Por otra parte, las simulaciones que consideran lentes débiles, emplean herramientas estadísticas sobre catálogos sintéticos, o sea, sobre observaciones simuladas que permiten reconstruir el fenómeno “lenteado”. De esta manera, al fijar los parámetros libres de la técnica estadística, a través de las simulaciones, la misma es usada, de forma paralela, en las observaciones al momento de inferir nuevas propiedades sobre el campo de gravedad, es decir, sobre la distorsión del fenómeno en cuestión. Así, las lentes fuertes y las débiles son empleadas actualmente en cosmología observacional para obtener información relevante que sólo, a través de sus propiedades, puede alcanzarse.

Al examinar el criterio de observabilidad propuesto por Humphreys, el cual se basa en una posición realista con respecto a las propiedades, cualidades y atributos observables, ha sido posible sostener que una división tajante entre entidades observables e inobservables es errada. De esta manera, tal línea de demarcación es continua y no se halla fija gracias a las innovaciones de los sistemas instrumentales, tanto observacionales como computacionales. En consecuencia, la observación de ciertos objetos, a través de sus propiedades, mediante el uso de instrumentos de detección, cuyos mecanismos de producción de datos son distintos, ha permitido garantizar epistémicamente los saltos inferenciales de lo observado a lo inobservado. Así, al consolidarse la evidencia observacional disponible, la cual se hallaba restringida al ámbito exclusivo de la experiencia sensible, fue posible avalar la identidad de las propiedades de los objetos observados, a aquellos inobservados. La identificación de los procesos causales involucrados, no solo los inherentes a los mecanismos de producción de los datos, sino aquéllos asociados al fenómeno que se está observando, ha facilitado la extracción y discriminación entre información relevante, de aquella que no lo es. Esto ha esclarecido las relaciones, interrelaciones y correlaciones dentro del cúmulo de propiedades observadas en el mundo físico. En este contexto, descubrirlas es alcanzar el conocimiento sobre los hechos o situaciones observacionales que causan un fenómeno peculiar. Al ser los instrumentos detectores de propiedades, estas últimas son las que dan origen causal a lo que se observa, ya sea en escenarios instrumentales tradicionales, o bien, computacionales. Las cualidades o atributos de un objeto pueden observarse por una u otra vía, lo importante es poder reconocerlas. Así, las observaciones pueden darse a través de las simulaciones. Por otra parte, el enfoque de Quezada y Pavez, ha permitido identificar los diferentes procesos causales de producción de datos como pseudoprocesos, a fin de distinguirlos de los procesos que sí guardan vínculos causales entre ellos, es decir, de los resultados disponibles interpretados a la luz del modelo del fenómeno bajo investigación. A partir del ejemplo astrofísico, ha sido viable una comprensión sobre el estatus que tienen los datos, esto es, su contenido informacional acerca de su origen, en la observación o en la simulación, o bien, sus interpretaciones e intercambiabilidad en las prácticas observacionales de la actualidad.

Capítulo V. Nociones afines a las prácticas observacionales

V.1 El experimento

Es sabido que la experimentación no es sólo un criterio que posibilita la elección entre teorías rivales, sino que también es una actividad que permite analizar las técnicas a partir de las cuales los datos se interpretan como hechos concretos del mundo físico. Tradicionalmente, el análisis filosófico sobre los experimentos consistía en tomarlos en base a la observación, la cual servía como fundamento para su estudio. Esta perspectiva ha ido cambiando a lo largo del surgimiento de diferentes doctrinas en la filosofía de la ciencia contemporánea. Algunas de ellas han enfatizado la importancia del trasfondo teórico y de las creencias en la percepción humana y su importante rol en las prácticas experimentales.

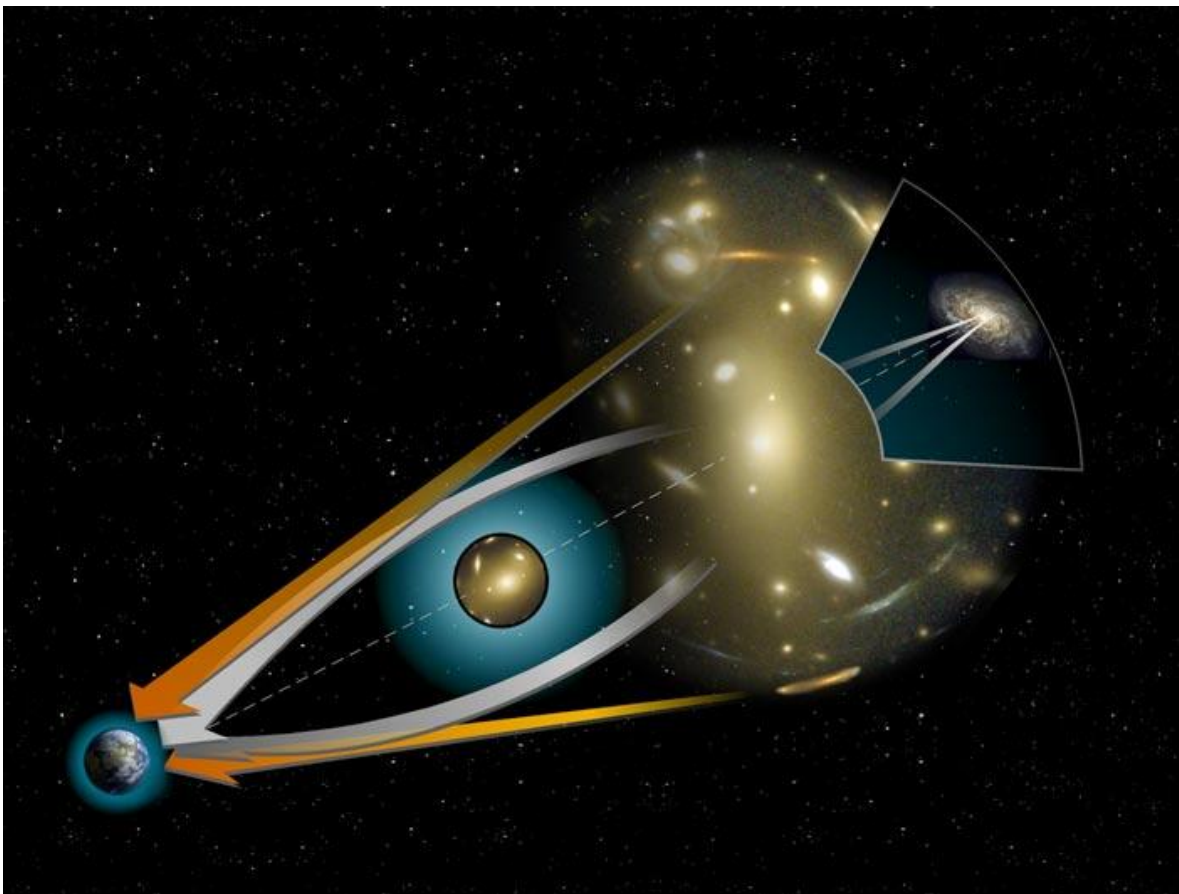
A principios de la década de 1980, surgieron nuevas perspectivas filosóficas que permitieron analizar la noción de experimento en base a su autonomía o relativa independencia con respecto a las teorías. Así, en la evaluación de los resultados experimentales se destacaban aspectos importantes que no eran contemplados por las mismas y que formaban parte de las prácticas científicas. En esta dirección, Ian Hacking (1983) pone énfasis en reconocer que dichos aspectos tales como el diseño, la construcción, la operación de los instrumentos, la medición y la manipulación de entidades del laboratorio forman parte de una cultura experimental diferente. Al intervenir sobre imágenes y objetos físicos determinados, este autor destaca la independencia de la actividad experimental con respecto a las teorías. Aun cuando estas últimas cambian, tales imágenes y entidades pueden permanecer sin alteraciones; incluso puede derivarse cierto conocimiento correspondiente a propiedades inherentes al diseño y a la operación del instrumental empleado en la observación y en la medición. El hecho de que estas entidades físicas puedan ser manipuladas implica que pueden ser empleadas como herramientas experimentales para investigar diversos aspectos del mundo físico. Desde esta perspectiva, el objetivo del científico no consiste sólo en contemplar e interpretar a la luz de las teorías tales entidades, sino también de utilizarlas como aparatos para intervenir y transformar la

naturaleza. Así, el estatus epistémico de éstas dependerá de su capacidad en el entorno de las prácticas experimentales, las cuales muestran el inter-juego entre las teorías, los fenómenos y los instrumentos de observación.

En *Representar e Intervenir*, Hacking argumenta en contra de aquellos enfoques representacionales teóricos que intentan justificar las creencias epistémicas de los científicos sobre la existencia “real” de las entidades inobservables. Desde su punto de vista, él sostiene que la ingeniería y la tecnología de los sistemas instrumentales son las que proveen el fundamento para sostener un realismo científico acerca de las entidades. No obstante, al final de su libro clásico, este autor se mantuvo escéptico con respecto a la existencia de los “agujeros negros” como objetos “reales” de la astrofísica de ese entonces. Hacking sostuvo esta actitud hasta 1989, cuando publicó “Extragalactic Reality: The Case of Gravitational Lensing”, artículo que por cierto generó controversias por parte de aquellos filósofos de la ciencia, como Dudley Shapere (1993) en “Astronomy and Antirealism”, que intentaron rebatir su posición de un antirrealismo moderado en la astronomía extragaláctica. En lo que sigue, se explorarán lateralmente los argumentos y planteos de Hacking y sólo se mencionarán algunas de las réplicas más interesantes de Shapere a su enfoque escéptico. Luego, a los fines de este apartado, se abordará la noción de experimentación propuesta en las obras de Hacking, antes mencionadas. De esta manera, siguiendo el artículo “Rethinking Experimentation” de Michelle Little (2000), se mostrarán cuáles son los alcances de la experimentación en las prácticas observacionales dentro del ámbito astronómico. Así, se intentará rescatar una noción de experimento, “débil” o no estricto, asociada a una actividad interventiva sobre los diferentes sistemas instrumentales de observación y de medición, como así también sobre la construcción de los diversos modelos de fenómenos astrofísicos.

Hacking concluye, en 1983, con lo que él denomina un argumento experimental para sostener un tipo de realismo científico acerca de las entidades físicas inobservables; el mismo no es aplicable al ámbito astronómico. De este modo, en 1989, extiende su posición de un antirrealismo en la astrofísica al considerar un estudio de caso basado en la teorización y en la posible identificación y detección de lentes gravitacionales en el universo. Según este autor, resulta evidente que su planteo realista

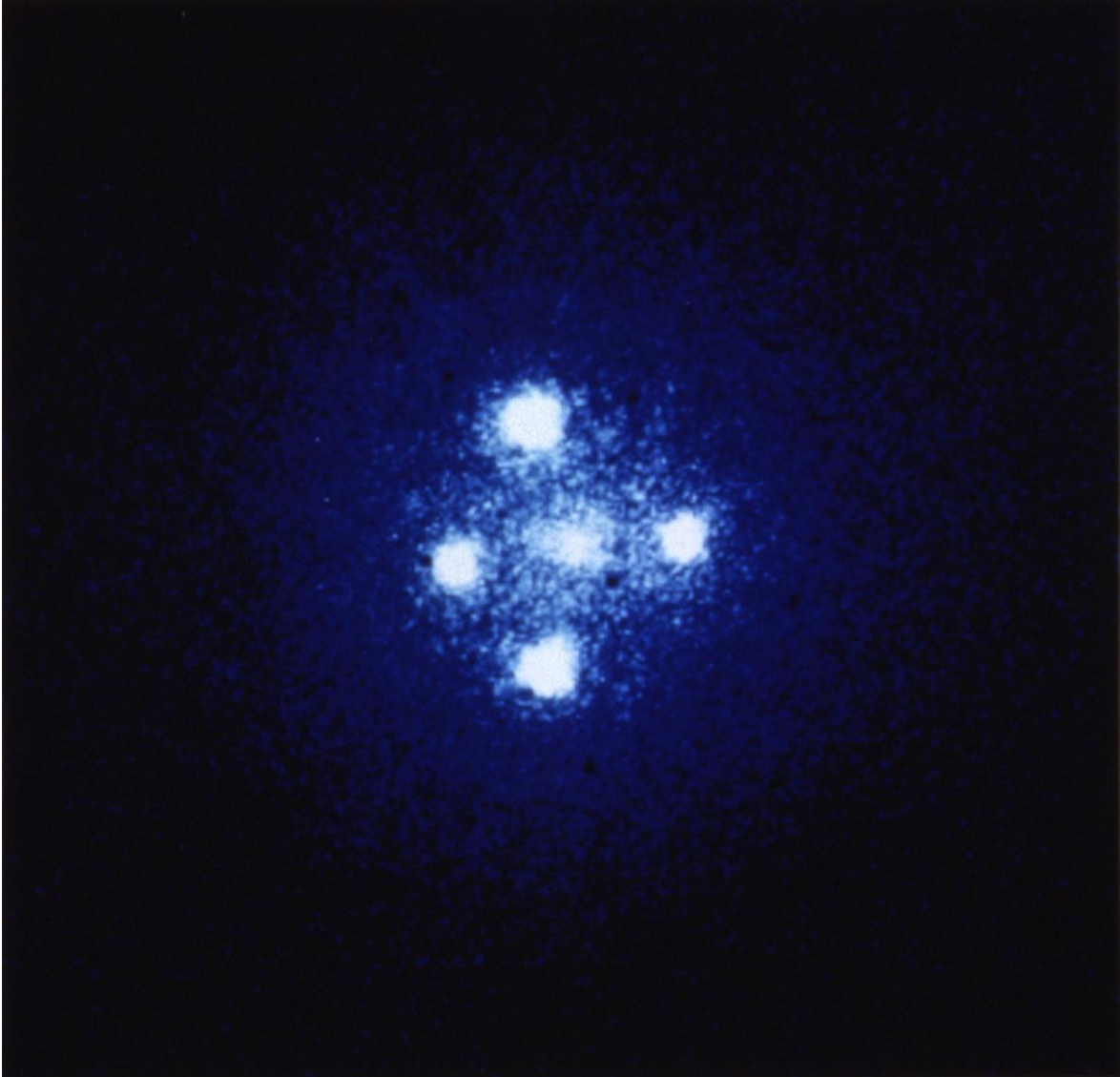
es inaplicable a las entidades inobservables postuladas por las teorías de estos fenómenos particulares, las cuales afirman su existencia fuera y dentro de la Vía Láctea. Es importante destacar que en aquél entonces, dichas lentes no habían sido “directamente” observadas, pero sí habían sido predichas por diferentes teorías físicas que contemplaban estos fenómenos exóticos. En pocas palabras: una lente gravitacional se produce cuando la radiación electromagnética emitida por uno o varios objetos lejanos, como galaxias brillantes o cuásares, recorre el espacio y en su camino, entre la fuente emisora y el receptor, se antepone otro objeto masivo (visible o invisible) que perturba la señal original curvando los rayos de luz provenientes de dicha fuente.



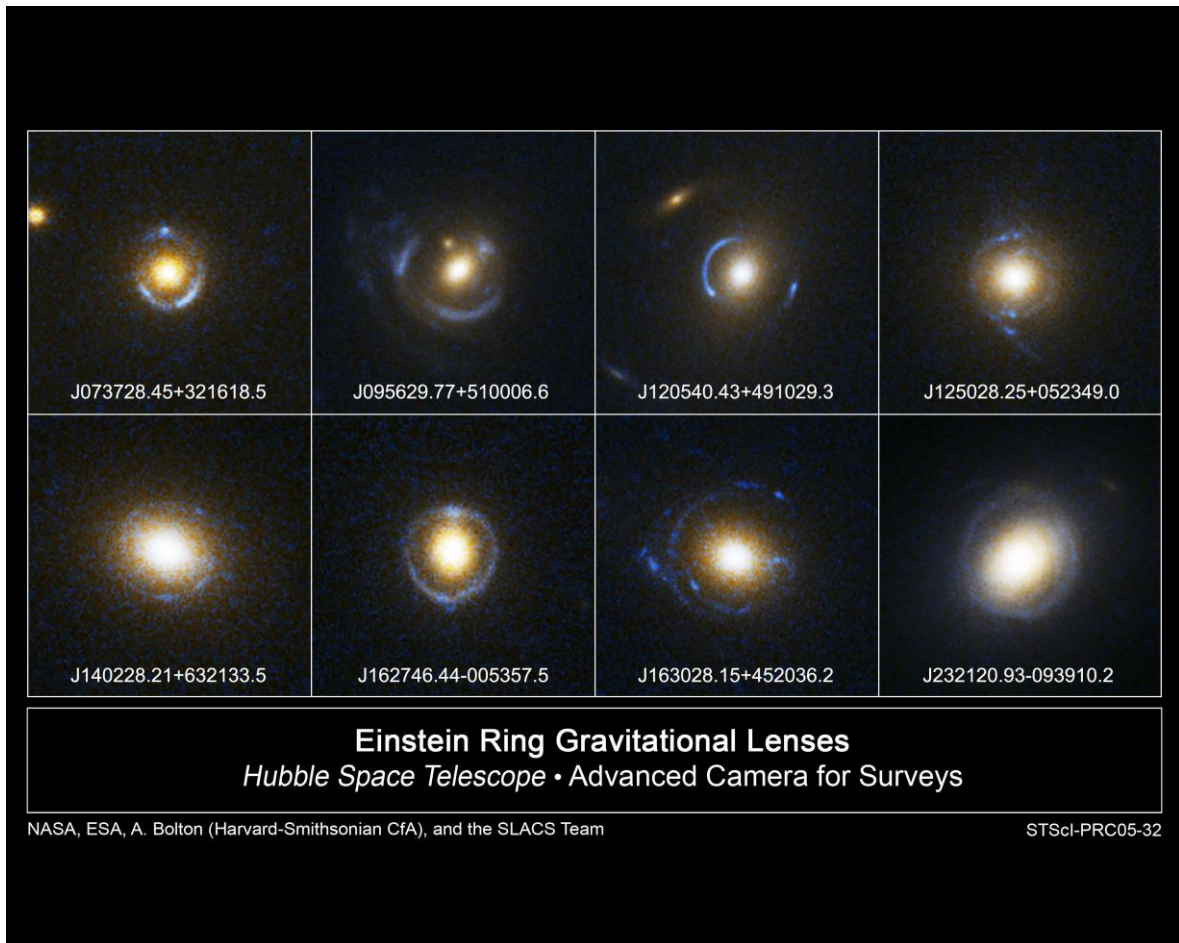
[FIG. V.1] TRAYECTORIA DE LA LUZ EN UN SISTEMA DE LENTE GRAVITACIONAL. LAS IMÁGENES DE OBJETOS DISTANTES ADQUIEREN FORMA DE ARCOS, RODEANDO EL OBJETO MASIVO INTERMEDIO.

Así, y sin entrar en detalles técnicos, las galaxias masivas, los agujeros negros o la materia oscura son ejemplos concretos de objetos que pueden provocar la deflexión

de los rayos de luz. Si la lente coincide y se halla en la línea de la visual, entonces el observador notará una distorsión en forma de anillo o halo correspondiente a uno o más objetos de fondo; pero si ésta se encuentra desplazada de dicha línea, el observador se percatará de imágenes múltiples de la fuente emisora, apareciendo en dos o más direcciones rodeando al objeto perturbador.

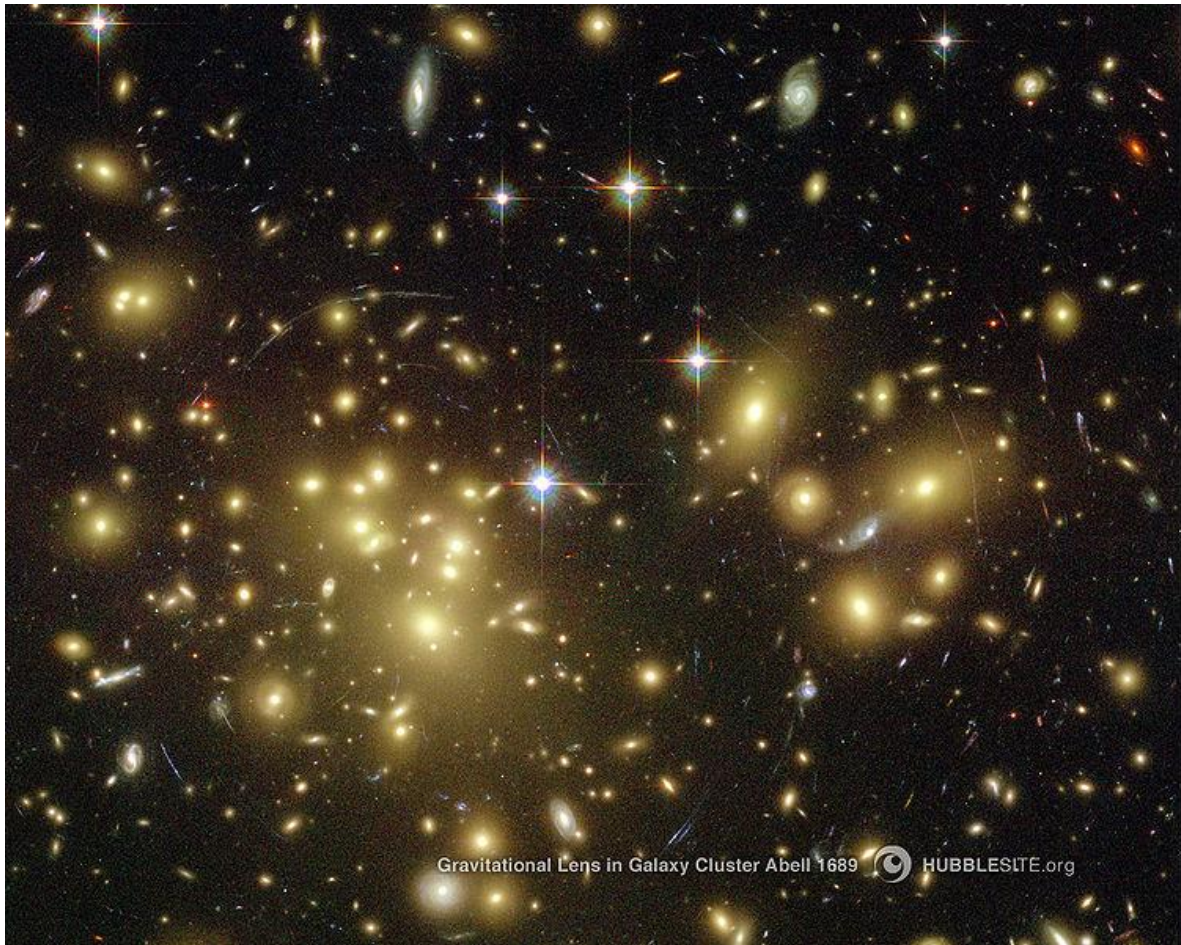


[FIG. V.2] FORMACIÓN CONOCIDA COMO LA CRUZ DE EINSTEIN. CUATRO IMÁGENES DEL MISMO CUÁSAR APARECEN ALREDEDOR DE UNA GALAXIA.



[FIG. V.3] DEFORMACIÓN DE LA LUZ DE UNA FUENTE LUMÍNICA EN ANILLO.
ANILLOS DE EINSTEIN OBSERVADOS POR EL TELESCOPIO ESPACIAL HUBBLE
(HST).

En ambos casos, las lentes no sólo distorsionan las imágenes de los objetos en cuestión, sino que además permiten su magnificación, aun cuando la energía de la señal original disminuye. De esta manera, un sistema de lente gravitacional se halla conformado por un observador o receptor, una o varias fuentes emisoras, un objeto masivo que perturba e intermedia entre ambos y ciertas condiciones (iniciales y de contorno) que configuran la situación observacional.



[FIG. V.4] EFECTOS DE LENTES GRAVITACIONALES OBSERVADOS POR EL HST. LA LENTE ESTÁ FORMADA POR EL CÚMULO DE GALAXIAS ABELL 1689. SE MUESTRAN IMÁGENES DE ARCOS VINCULADOS A GALAXIAS DISTANTES.

Hacking sostiene que no hay manera de interferir en los diversos sistemas de lentes gravitacionales; incluso la mayoría de éstos se componen de materia oscura, la cual es por definición inobservable. No obstante, los diferentes tipos de lentes (lentes fuertes, débiles o sistemas de mini-lentes) son “en principio” detectables u observables. Sin embargo, él no se propone distinguir entre la observabilidad y la observación de estas entidades astronómicas, sino que, al distinguir entre el método científico y el método experimental, se cuestiona cuál es el alcance de la experimentación en la astronomía. Este autor sostiene que en la actualidad astronómica (sobre todo en aquellos ámbitos afines a la geología planetaria y a la astrobiología) se está en condiciones de experimentar en la Luna y en los planetas cercanos del sistema solar.

Sin embargo, no es posible conducir experimentos en el Sol, en las estrellas más próximas y menos aún experimentar con alguno de dichos objetos. Esto lo lleva a concluir que la experimentación galáctica es una cuestión inherente a la ciencia ficción, mientras que la experimentación extragaláctica podría considerarse un mal chiste.

No obstante, las diversas investigaciones astronómicas y astrofísicas siempre han formado parte, sin lugar a dudas, de las ciencias naturales. De esta manera, resulta claro que el método científico no puede ser lo mismo que el método experimental; o por lo menos no es igual al método baconiano promulgado en el siglo XVII. Aunque el método experimental también se nutre de la observación, ambos métodos difieren en esta disciplina científica restringida aparentemente a la contemplación. Pero esta última no es estrictamente pasiva, o sea, sin intervención y manipulación alguna. A diferencia de la tradición empirista antes mencionada, la cual sostenía que conocer es transformar la naturaleza, la perspectiva que se intenta defender aquí consiste en rescatar una versión débil del experimentalismo de Hacking, sin adoptar completamente su postura filosófica realista de 1983 y su antirrealismo moderado de 1989. Ello significa, sin hacer distinciones por ahora, que los métodos y técnicas observacionales dependen fuertemente del diseño de los instrumentos, aparatos y auxiliares empleados en los diferentes ámbitos astronómicos. Esto posibilita la elaboración de una diversidad de prácticas observacionales interventivas sobre los diversos modelos de fenómenos, como así también sobre los sofisticados sistemas de observación. Sin manipular los objetos bajo investigación, se considera viable esta clase de experimentos no estrictos. Más adelante, se desarrollará con más detalle este punto.

Hacking sostiene que los agujeros negros, las cuerdas cósmicas, etc. son entidades que dependen de profundas teorizaciones. A diferencia, las lentes mencionadas son identificables y comúnmente observadas con los instrumentos vigentes. Así, ellas proveen una poderosa herramienta que les permite a los astrónomos investigar la distribución de masas de las galaxias, de grupos y cúmulos de éstas, y evaluar parámetros cosmológicos fundamentales como la tasa de expansión del universo (constante de Hubble), entre otros. De esta manera, las lentes gravitacionales posibilitan la indagación sobre el faltante de masa en el universo

observable; sin embargo, dichas lentes pueden poblar el mismo de artefactos naturales o espejismos, como los fenómenos observados en las figuras anteriores.

Según Hacking, el realismo científico acerca de entidades inobservables siempre ha girado en torno de clases naturales de objetos, tales como los tipos de partículas sub-atómicas y las familias de astro-partículas. No obstante, existen casos experimentales donde el énfasis se ha puesto en objetos individuales. Así, en febrero de 1987, diferentes detectores mostraron indicios específicos al capturar determinados neutrinos provenientes de la Nebulosa de la Tarántula en la Gran Nube de Magallanes, luego de la explosión de la supernova 1987A ubicada allí, a unos 168.000 años luz de distancia. En esta dirección, él sostiene que no todos los neutrinos son idénticos dado que, en este objeto astrofísico particular, los mismos poseen una historia propia y sólo interesan aquellos que pueden ser observados, luego de su captura y detección. Sin embargo, al estudiarlos se intenta clasificarlos según sus atributos o magnitudes físicas, lo cual puede acarrear a un ámbito teórico extremo. A diferencia, los sistemas de lentes gravitacionales, al exhibir múltiples imágenes de un objeto específico, conducen a un ámbito estrictamente observacional que depende, como se mencionó anteriormente, de la misma situación de observación. En otras palabras, esto significa el traspaso de clases inobservables de entidades (como ciertas propiedades de los neutrinos, por ejemplo) a la inferencia de entidades inobservables particulares con rasgos determinados (como las diversas lentes apreciadas). En la actualidad pueden identificarse diferentes tipos de lentes y, en este sentido, el artículo de este autor puede ser anacrónico²⁴. Hacking es realista con respecto a ciertas entidades inobservables como los electrones, por ejemplo. Sin embargo, al afirmar su existencia, este autor reconoce que las descripciones de estas entidades son aproximadas y no se escapan del plano fenomenológico. No obstante, él sostiene lo siguiente:

²⁴ De igual manera, cabe destacar que para el año en que salió publicado el artículo de Hacking (1989), los agujeros negros sólo eran detectados indirectamente, es decir, sólo sus efectos eran observados directamente. Este fue uno de los motivos por el cual este autor examinó las lentes gravitacionales como estudio de caso para sostener su antirealismo en la astrofísica. Sin embargo, con el lanzamiento del HST en 1991, se abrió una nueva era de telescopios espaciales que cambiaron notablemente la “imagen” que se tenía del universo. Así, estos instrumentos arrojaron una gran cantidad de evidencias observacionales sobre la existencia de tales objetos, los cuales ya no parecían ser sólo elucubraciones teóricas. De esta manera, se pasó en el ambiente científico de la evidencia a la “certeza” observacional de los agujeros negros.

“In the case of lenses, at most we can see multiple images and deduce that they are images of the same object, and we can look for a massive object in the right place that would do the lensing. We may be able to observe an object A, but we can’t observe that this object is a gravitational lens. One can only infer that from observations, where by “observation” I hope it is by now self-evident that I don’t mean just looking at the night sky with the naked eye or even looking into a telescope. Certainly we cannot interfere with a gravitational lens system (except by choosing to look at its effects) ...These objects may be “in principle” detectable—many are, after all, just stars. But they have not been detected...In short we have no need for philosophical quibbling about what is observable and what observation is. Wherever one draws the line, some body of lenses oversteps it.” / “En el caso de las lentes, en su mayoría podemos ver multiples imágenes y deducir que son imágenes del mismo objeto, y podemos buscar un objeto masivo a su derecha que haría el lenteado. Podemos ser capaces de observar un objeto A pero no podemos observar si este objeto es una lente gravitacional. Uno puede inferir esto solamente desde las observaciones, con el término “observación” al ser ya autoevidente no me estoy refiriendo solo a mirar el cielo de noche a ojo desnudo o mirar por un telescopio. De hecho no podemos intervenir con un sistema de lentes gravitacionales (excepto cuando elegimos mirar sus efectos)... Estos objetos pueden ser “en principio” detectables – muchos de ellos, después de todo, son estrellas. Pero no han sido detectados... En breve, no tenemos necesidad de un análisis filosófico minucioso sobre qué es observable y qué es una observación. Donde uno traza la línea, algún cuerpo de lentes puede sobrepasarla. (Hacking, 1989, p. 559)

De todas maneras, lo que se quiere remarcar aquí es la necesidad, por parte de los astrónomos, de desarrollar prácticas que permitan utilizar los sistemas de lentes como herramientas para poder observar los objetos que conforman dicho sistema. De hecho, según el análisis histórico de Hacking, el primer astrónomo en elaborar y emplear tales técnicas fue Zwicky en 1937, a quien además se le acredita el uso del concepto de lente gravitacional. Este astrónomo mostró que dichas lentes eran difíciles de identificar en la Vía Láctea, pero sí abundaban en el reino de las nebulosas extragalácticas al determinar las masas de estos objetos “lenteados” o perturbados (Zwicky, 1937a, 1937b). Sin embargo, estos sistemas no fueron ampliamente observados sino hasta después de 1945. Posteriormente, en la década de 1960, las

investigaciones realizadas por diferentes astrónomos pusieron énfasis en el desarrollo de nuevas técnicas “experimentales” para la identificación de tales sistemas. Así, al calcular su probabilidad de ocurrencia, los efectos de lentes gravitacionales comenzaron a cobrar interés y las prácticas asociadas a tales fenómenos, contrariamente a la idea de que éstos eran espejismos (tesis de Barnothy), empezaron a tener “vida propia”. En esta dirección, a principios de la década de 1980, los astrónomos habían identificado y clasificado por lo menos seis tipos de lentes. Sin embargo, Hacking afirma:

“These words seem contrary to my suggestion that one does not “observe” lenses... But what we have observed is a very large number of galaxies, most of which are, under same model, consistent with the observations and the hypothesis of some gravitational lens effect or other.” / “Estas palabras parecen contradecirme cuando digo que no se pueden “observar” las lentes... Sin embargo lo que hemos observado es un gran número de galaxias, la mayoría de las cuales son, bajo un mismo modelo, consistentes con las observaciones y con la hipótesis de lentes gravitacionales o de algún otro efecto. (Hacking, 1989, p. 566)

Salvo en aquellas instancias donde un sistema de lentes está conformado por una galaxia cercana que se encuentra directamente delante de un cuásar lejano, este autor se cuestiona por qué el resto de los casos observados son pensados como lentes gravitacionales. Aunque estos últimos se manifiestan como fenómenos que exhiben imágenes múltiples de dos o más objetos aparentes, se conjetura que las mismas se corresponden a un solo objeto. En esta dirección, Hacking afirma que este razonamiento es fácil de comprender dado que los argumentos astrométricos y astrofísicos son sólidos. Los mismos consisten en identificar dichas imágenes y medir tanto su separación angular como los corrimientos (hacia el rojo y el azul) de las líneas espectrales (de absorción y de emisión). Al reconocer la sorprendente proximidad entre las imágenes obtenidas, y la similitud de los elementos químicos presentes en su análisis espectral, los astrónomos coinciden en aseverar que se trata de un mismo objeto. Sin embargo, en el proceso observacional se examina la posibilidad de una primera hipótesis explicativa que involucra dos objetos diferentes, correspondientes a cada imagen. Así, existe un gran número de coincidencias que implicarían que tales

objetos poseen las mismas condiciones iniciales, una misma evolución astrofísica y una gran cercanía entre ellos. Al considerarse la hipótesis de las lentes gravitacionales, se descarta cualquier posibilidad de que sean objetos distintos, no asociados físicamente. De esta manera, los efectos observados tales como los tamaños, las formas y su amplificación se ajustan con el modelo de lente considerado. Ello permite a su vez la investigación, a través de sus propiedades y atributos observables, tanto de los objetos perturbados o lenteados como del resto que conforma el sistema. Dado el importante valor epistémico de esta última hipótesis, se deja de lado aquélla que recurre a la idea de espejismos, la cual sólo da lugar al estudio del proceso por el cual se genera el fenómeno en sí.

No obstante, este autor sostiene que estas hipótesis han surgido según esquemas abductivos, de inferencias a la mejor explicación (disponible), donde: en el caso de tratarse de objetos diferentes, deberían darse un gran número de coincidencias remotas e improbables; en el caso de considerarse la imagen múltiple de un mismo objeto, la conjetura es más probable. Dichas hipótesis, alternativas o rivales, antes de ser generadas como tales, suelen iniciarse como conjeturas o presunciones, alcanzando su estatus luego de que son chequeadas empíricamente a partir de una gran cantidad de observaciones que la evidencian. En esta dirección, luego de sesenta años de su predicción y caracterización, los sistemas de lentes gravitacionales pudieron ser confirmados entre 1979 y 1983 en aquellas investigaciones que empleaban modelos estándar de galaxias como diferentes modelos de cúmulos de galaxias. Esta combinación pudo arrojar una explicación fehaciente a la formación de las imágenes múltiples de un objeto particular y dar cierta plausibilidad a las observaciones logradas en diferentes rangos del espectro electromagnético. Así, al permitir su intensa búsqueda y propiciar luego las observaciones necesarias para su confirmación, se pasó de la conjetura a la hipótesis de dichas lentes. No obstante, Hacking presenta un enfrentamiento entre el modelado teórico de estos sistemas y las observaciones obtenidas en lo que concierne al número de imágenes sugerido por una u otra vía. Por un lado, el modelo predice un número impar de imágenes múltiples del objeto lenteado, dado que considera cierta “esfericidad y transparencia” de la lente que permite el paso de la mayoría de los rayos de luz provenientes de la fuente. Son excluidos aquellos

cuerpos sólidos (como estrellas y agujeros negros) que interactúan electromagnéticamente. Por otro lado, la mayoría de los sistemas de lentes observados muestran números pares de imágenes. Este conflicto puede ser resuelto a través de métodos abductivos, los cuales sugieren hipótesis alternativas que explican la ausencia de imágenes impares. Estas últimas pueden ser demasiado difusas para ser detectadas con los instrumentos disponibles, o la imagen faltante se halla demasiado separada de las otras observadas, o bien, las galaxias que intermedian no son completamente transparentes, absorbiendo los rayos de luz que atraviesan el centro de las mismas, etc. De otra manera, el conflicto también puede resolverse cuando los modelos teóricos postulan entidades, como la materia oscura, que intermedian y sólo interactúan gravitacionalmente con el resto del sistema. Siguiendo a Hacking, tales entidades pueden ser consideradas inobservables en principio, dado que la teoría impone ciertas restricciones, limitando que el objeto (la lente del sistema) pueda ser observado. Así, en sus propias palabras, él sostiene:

“Hence one is led to think that dark matter may be primarily responsible for lensing... If that were the case, then indeed most of our present proposed lenses are inferred, not observed!”
/ *“Por consiguiente uno tiende a pensar que la materia oscura puede ser la causa primaria del lenteado... Si fuera así, entonces la mayoría de nuestras lentes presentadas actualmente serían inferidas, ¡no observadas!”* (Hacking, 1989, p. 571)

Hacking también sostiene que las microlentes gravitacionales, sea cual sea su naturaleza (estrellas enanas o planetas gigantes) no son observadas sino objetos inferidos²⁵:

“The chasm of uncertainty is yawning before us. In general, there is no way that we are going to see the stars that are doing the conjectured lensing. The magnitude will be very much less than QSO, BL Lac or whatever it is, and characteristically beyond the range of detection, even with Space Telescope.” / *“El abismo de incertidumbre parece expandirse ante nosotros. En*

²⁵ Es importante notar que este tipo de lentes son actualmente consideradas “telescopios cósmicos” por su poder de magnificación para el descubrimiento de planetas extrasolares, principalmente. También se destacará más adelante, en el segundo apartado de este capítulo, la relevancia de su utilización en el modelado computacional de sistemas de galaxias en interacción que admiten halos de materia oscura.

general, no hay manera de ver las estrellas conjeturadas que están produciendo el lenteado. La magnitud puede ser aún menor que un QSO, BL Lac o cualquier otro, y sus características van más allá del rango de detección, incluso con el telescopio especial.” (Hacking, 1989, p. 572)

Una de las objeciones que se le hace aquí a la argumentación de este autor es el sesgo vinculado al debate realismo-antirrealismo y, por ende, a entidades observables versus entidades inobservables, en su caracterización del concepto de observación. Ello obliga a pensar a este último en términos bivalentes (o en blanco y negro), dejando de lado los matices (o grises) necesarios para abordar un análisis basado en la diversidad de prácticas observacionales. En otras palabras, al restringir el ámbito de fenómenos astrofísicos sólo a objetos, Hacking no considera sus atributos y efectos observados como propiedades observables de los mismos. Así, según él, la lente gravitacional (sea o no observable) es un objeto inferido, no observado²⁶. Desde esta perspectiva, un halo de materia oscura, una enana marrón o un exoplaneta se infiere a partir de los efectos que produce, tales como las imágenes múltiples (cruces y anillos), la distorsión, o bien, la magnificación de los objetos de fondo. A los fines de evadir y de no caer en dicha discusión, se abogará a favor de la distinción entre propiedades observables/propiedades inobservables, y no así de entidades. Así, en este escrito, se tomará como supuesto la caracterización sugerida por Bogen y Woodward (1988). En esta dirección, se considerará que los objetos, propiedades, procesos, relaciones entre propiedades, cualidades, atributos, etc. caen dentro de la categoría de fenómenos propuesta. En consecuencia, la elasticidad de esta última, pese a que nutre de cierta vaguedad a la noción de fenómeno, no permite el cruce entre planos conceptuales diferentes, precisamente la amalgama entre lo ontológico y lo epistemológico. Esta flexibilidad proporciona cierta movilidad en este último nivel, el cual es pertinente aquí y hace posible afirmar que la observabilidad de un objeto se sustenta a partir de sus propiedades y efectos observables, lo que instanciado en la práctica sería que un objeto es observado a través de sus cualidades o atributos. Esta perspectiva pragmática va más allá de la posición antirrealista que intenta defender Hacking para el ámbito de la

²⁶ Como se ha mostrado, en el capítulo anterior, es crucial distinguir la observabilidad de la observación. No se volverá a desarrollar este punto, sólo se hará notar que en la exposición de Hacking esta distinción es difusa.

astrofísica. Así, se pondrá énfasis en el carácter experimental (no estricto) en el que están implicadas dichas lentes gravitacionales; más precisamente, su importancia como “instrumentos” de rectificación, magnificación y resolución en el estudio de los objetos astronómicos del fondo del sistema. De esta manera, podría decirse que en esta disciplina de las ciencias naturales es fuerte una experimentación débil. Ello, acorde con Hacking (1983), no sólo tiende a una actividad puramente contemplativa y representacional, sino a una serie de prácticas observacionales que involucran cierta sofisticación experimental. En este sentido, la experimentación está al servicio de la observación y no al revés.

Por otra parte, un posible marco o contexto consiste en pensar este estudio de caso desde el punto de vista de las relaciones entre las teorías, los modelos y los objetos involucrados. En esta dirección, Hacking traslada el debate filosófico con respecto a las entidades y reafirma su posición antirrealista en la astrofísica; aludiendo así a los distintos niveles en el ámbito de las prácticas inherentes al modelado de fenómenos. Él comienza manifestando que la teoría de la relatividad general posee una diversidad de modelos como consecuencia de posibles soluciones a sus ecuaciones. Estas últimas resultan en diferentes modelos cosmológicos que consideran, de forma dispar, las ecuaciones del campo gravitatorio, tales como el modelo de Friedmann–Lemaître, o bien, el modelo de Robertson–Walker. A diferencia de esta capa genérica de modelado, se dan otras que aumentan su nivel de especificidad, las cuales involucran tanto clases naturales como subtipos y objetos singulares. De esta manera, se comienza con un modelo de universo, pasando por una amalgama de modelos de clases de objetos, y se termina con otro de una entidad astronómica particular. En el modelado de esta última, una lente gravitacional determinada, puede considerarse como una serie de supuestos o hipótesis *ad hoc* (su distribución a gran escala, por ejemplo) del modelo sobre el cual se apoya. Esto permite justificar las magnitudes físicas de los rayos de luz (curvatura, deflexión; etc.) o el grado de alineación y las distancias entre los objetos del sistema. Incluso, los modelos elaborados pueden ser inconsistentes entre sí y, sin embargo, pueden explicar los mismos efectos observados. De esta manera, y con bastante erudición, Hacking muestra en su artículo que hay

modelos de lentes gravitacionales más explicativos, pero menos predictivos que otros, y viceversa. Él afirma lo siguiente:

“When I say “false” here, I am not in any way intending to impugn the physicists. I am speaking from the standpoint of the scientific realism/anti-realism debate among philosophers. In astrophysics we have only models, and all too many of them, at every possible layer of investigation. There are no propositions of detail, at the level of the science I have been describing, which are more than models. These models are not literally true. Nor are they “converging on the truth”, for all we will ever have are more models. That is why I am an anti-realist about astrophysics. I stand by concluding paragraph of Representing and Intervening, quoted in section 4 above.” / “Cuando digo “falso” aquí, no pretendo impugnar a los físicos. Hablo desde el punto de vista del debate realismo/antirrealismo científico entre los filósofos. En astrofísica, tenemos solamente modelos, y un gran número de ellos se encuentran en niveles posibles de investigación. No hay proposiciones detalladas al nivel científico que he estado describiendo, que sean más que los modelos. Estos modelos no son literalmente verdaderos. Tampoco “convergen a la verdad”, ya que siempre vamos a tener solo modelos. Esta es la razón por la cual soy antirrealista con respecto a la astrofísica. Me atengo a la conclusion de Representar e Intervenir, citada antes en la sección 4. (Hacking, 1989, p. 576)

La alusión de Hacking en esta cita, a su obra de 1983, tiene como propósito sostener cierto escepticismo con respecto a algunas entidades teóricas, tales como lo eran en ese entonces los agujeros negros. Así, este autor supone que debería haber otra manera de obtener una representación del universo que sea igualmente consistente con los fenómenos observados, dejando de lado los objetos exóticos e inobservables de la astrofísica. Más precisamente, aquellas entidades que no son más que elucubraciones de las teorías que han existido, por largo tiempo, en la mente de los científicos. Según él, escapar a cualquier intento de manipulación, o intervención experimental, sobre dichas entidades conduce inevitablemente al fracaso. De esta manera, al reafirmar su posición antirrealista, ratifica su sesgo dualista, dejando de lado cualquier caracterización de una noción de observación basada en propiedades y no en objetos. A diferencia de este autor, en este apartado se defiende la idea de que en los niveles intermedios del modelado existe una fuerte dependencia estadística, la cual

permite establecer inferencias de este tipo sobre las clases de fenómenos bajo investigación. A partir de estas inferencias estadísticas se obtienen propiedades novedosas inherentes a la muestra, que permiten a su vez la observación de objetos particulares a través de estos atributos observables y cualidades comunes. Una vez más, las lentes gravitacionales de un sistema pueden ser observadas y no son sólo inferidas.

Como se mencionó anteriormente, la observabilidad de los fenómenos astrofísicos se basará en sus propiedades, mientras que su observación dependerá de ellas. Cómo se relacionan estas últimas con los objetos y procesos físicos involucrados es pertinente al ámbito teórico, no al campo de la observación propiamente dicha. No obstante, es importante destacar que dichas propiedades se hallan condicionadas por tres “dimensiones” extras de la observabilidad²⁷. Así, las técnicas presentes en la observación de tales sistemas de lentes gravitacionales están sujetas a la escala de observación (magnitudes físicas espaciales y temporales), a la perspectiva observacional (condiciones iniciales y de contorno del hecho o de la situación de observación) y al punto de vista del observador (conocimiento disponible e interpretación del sujeto epistémico).

Hacking sostiene que, desde la antigüedad, la astronomía ha sido una disciplina que ha incurrido en diferentes tradiciones que intentaron “salvar” los fenómenos. Algunas de las doctrinas filosóficas más recientes, a los fines de derivar los fenómenos observables, sugieren la adecuación empírica de las teorías involucradas. De esta manera, este autor critica la posición de van Fraassen (1980) quien asevera que todas las ciencias naturales pretenden salvar las apariencias. Es impensable para Hacking que todas ellas se enmarquen conforme a esta metáfora, dado que la mayoría busca la manipulación e intervención en el mundo natural para conocerlo. En este sentido, la tradición de salvar los fenómenos tiene un rol central en la astronomía contemporánea. Pese a que la tecnología aplicada en esta disciplina ha cambiado radicalmente desde

²⁷ Como se hizo notar en el capítulo anterior, Kosso considera las relaciones entre un objeto y sus propiedades. Sin embargo, deja de lado en su caracterización de la observabilidad estas dimensiones, las cuales son cruciales aquí para poder comprender el compromiso fenomenológico subyacente, es decir, las correlaciones entre distintos objetos, procesos diversos y propiedades diferentes. En este sentido, cabe resaltar la importancia metodológica de generar y establecer correlaciones a través de herramientas estadísticas variadas, tales como la función de correlación empleada en las prácticas astronómicas actuales.

las eras pre y post-telescópicas hasta la actualidad, los métodos observacionales siguen siendo los mismos desde épocas ancestrales. Según él, a diferencia de los métodos de las ciencias naturales, los cuales cambiaron rotundamente en el siglo XVII, los métodos astronómicos (no experimentales) no cambiaron en absoluto. Por esta razón, Hacking no considera a la astronomía como una ciencia natural dado que siempre, a través de sus métodos, contempló la diversidad de objetos celestes, construyendo modelos cosmológicos y adecuándolos empíricamente.

“The methods of the natural sciences have undergone a profound transformation, chiefly in the seventeenth century. Or one might say: the natural sciences came into being then and thereafter, while astronomy is not a natural science at all. (The organization of many university faculties and departments reflects this.) The transition to the natural sciences was precisely the transition to the experimental method, to interference in nature, to the creation of new phenomena...” / “Los métodos de las ciencias naturales han sufrido una marcada transformación, principalmente en el siglo diecisiete. O quizás deberíamos decir: las ciencias naturales se han ido desarrollando a lo largo del tiempo, mientras que la astronomía no es una ciencia natural en absoluto. (La organización de muchas facultades y departamentos de las universidades lo reflejan.) La transición de las ciencias naturales ha sido precisamente la transición hacia el método experimental, hacia una intervención en la naturaleza, hacia la creación de nuevos fenómenos...” (Hacking, 1989, p. 577)

De esta manera, Hacking sostiene que los métodos observacionales en astronomía no cambiaron, o sea, la observación y el modelado de fenómenos han permanecido siempre iguales. El análisis crítico a esta perspectiva es relativamente obvio: ¿es la astronomía una ciencia?, si lo fuera, ¿qué lugar ocupa entonces esta disciplina milenaria dentro de las ciencias? y, si tiene alguno, ¿a qué ámbito correspondería? Las respuestas también parecen indudables. En pocas palabras, al compartir un sistema de creencias epistémicas (distinto al de la astrología, por ejemplo) con otras ciencias naturales (como la física experimental, entre otras), la astronomía se nutrió de una variedad de métodos (como la fotometría, la espectroscopía; etc.) que permitieron su transformación al paso siguiente: la astrofísica.

Por otra parte, es notable apreciar cómo el desarrollo y los adelantos tecnológicos han cambiado la astronomía a lo largo del tiempo, configurado y sofisticando el mismo concepto de observación. Hacking piensa que, a la par de la exploración espacial interplanetaria, la elaboración y el análisis de datos observacionales han cambiado radicalmente en las últimas décadas. No obstante, él sostiene que tal evolución, y pese a que la misma ha implicado cambios y desafíos tecno-científicos relevantes, no ha afectado la manera en la cual se produce el conocimiento astronómico.

“Even a reader of the present essay will be aware, in a very modest way, of the rapid changes now occurring in astrophysics. But I persist in saying that the method of the science is the same as that of astronomy in Hellenistic times. Model, observe, and remodel in such a way as to save phenomena... Natural (experimental) science is a matter not of saving phenomena but of creating phenomena... But in astrophysics we cannot create phenomena, we can only save them... We believe in the reality of many entities postulated by theory because we can construct devices that use those entities in order to interfere in other aspects of nature... When we use entities as tools, as instruments of inquiry, we are entitled to regard them as real. But we cannot do that with the objects of astrophysics.” / “Incluso, el lector de este ensayo puede darse cuenta, de manera modesta, de los vertiginosos cambios que están ocurriendo en astrofísica. Sin embargo, insisto al decir que el método de la ciencia es el mismo que el de la astronomía en tiempos helenísticos. Modelar, observar y remodelar de cierta forma para salvar los fenómenos... Para la ciencia natural (experimental) no es cuestión de salvar los fenómenos sino de crearlos... Pero en astrofísica no podemos crear los fenómenos, solo podemos salvarlos... Creemos en la realidad de muchas entidades postuladas por la teoría debido a que construimos dispositivos que usan esas entidades para intervenir en otros aspectos de la naturaleza... Cuando empleamos entidades como herramientas, como instrumentos de investigación, podemos referirnos a ellas como reales. No obstante no podemos hacer lo mismo con objetos astrofísicos.” (Hacking, 1989, pp. 577-578)

Trasladar la problemática filosófica sobre la existencia o no de entidades astrofísicas a propiedades observables versus propiedades inobservables no tiene demasiado sentido. Esta discusión se diluye en este último caso, si se considera que las propiedades se definen a través de una referencia que no es exclusiva de un objeto.

Hay atributos que se refieren a procesos físicos o estadísticos que involucran tanto objetos como propiedades de los mismos. En otras palabras, en el caso del lenguaje natural, los adjetivos calificativos (cualidades) se definen al modificar siempre al sustantivo (entidades), independientemente de que este último sea abstracto (teórico) o concreto (observacional). En este sentido, podría sostenerse que el debate realismo/antirrealismo queda zanjado en lo que respecta al desarrollo del conocimiento y de las prácticas observacionales en la astronomía actual.

V.2 Críticas al antirrealismo en la astrofísica

A continuación, se desarrollarán algunas de las réplicas de Shapere (1993) sobre los argumentos de Hacking presentados anteriormente. En principio la crítica al antirrealismo de este último se enmarca en base a argumentos filosóficos, descuidando aspectos científicos relevantes. Si bien la investigación ha sido minuciosa, su erudición histórica deja de lado puntos de vistas e información altamente relevante para el estudio de caso considerado y que de hecho no favorecen su posición. Incluso, según Shapere, ciertas investigaciones tomadas por Hacking son erróneas y especulativas, de manera tal que afianza su antirrealismo en la astrofísica. No obstante, la mayoría de dichos reportes no proveen las bases para sostener su perspectiva filosófica, sino todo lo contrario. Ellos mantienen en claro que el objetivo de la astronomía es conocer sobre la composición, estructura y evolución del universo. Debido a estas imprecisiones, Shapere afirma que una interpretación realista de esta disciplina es más aceptable. Por esta razón, él asevera que tal postura antirrealista descansa sobre bases no científicas, las cuales poseen aspectos ambiguos y cuestionables que involucran una interpretación fragmentada de los fenómenos astronómicos en cuestión. En este sentido, Hacking ofrece un planteo extremo dual: la astronomía es una ciencia y el método científico no puede ser el método experimental, o bien, esta disciplina no es una ciencia y el método científico es el método experimental. Este último autor tiene en cuenta la segunda opción, la cual posiciona a la astronomía fuera del ámbito de las ciencias debido a que en la misma no es posible la intervención con sus objetos de estudio y por ello no es una ciencia natural. Por el contrario, Shapere se propone refutar esta postura aludiendo

a que, efectivamente, esta disciplina sí lo es y que el experimentalismo propuesto por Hacking es inadecuado tanto para la astrofísica como para el resto de la empresa científica.

Puntualmente, en lo que respecta a las micro-lentes gravitacionales, Shapere asevera que la preocupación inicial de Hacking radica en el hecho de que estas últimas no han sido identificadas aún, sean estrellas o galaxias compactas. Esto conlleva a cuestionar si las imágenes observadas (magnificaciones o distorsiones) son efecto de la lente, o bien, si se trata de atributos del objeto de fondo del sistema. En contraste, algunas lentes (fuertes o débiles) pueden ser objetos identificables, tales como galaxias, grupos o cúmulos de ellas, o halos de materia oscura que causan el efecto de lenteado. A diferencia de lo que Hacking sostiene, no hay inconveniente alguno en la identificación de esta clase de lentes. En este sentido, pese a las dificultades de la situación observacional, la detección de estos objetos es relativamente confiable. Por ende, no hay razones para descartar cualquier tipo de conocimiento realista al respecto. Aunque existan desacuerdos e inconsistencias entre las predicciones teóricas y las observaciones, es decir, entre el número impar de imágenes producidas y lo que de hecho se observa, Shapere asegura que se ha progresado en cuanto al entendimiento de estos casos. En particular, se conoce a ciencia cierta que algunas imágenes no son observadas por ser borrosas o por superponerse con otras. Este estado del conocimiento permite explicar aquellos casos donde la ubicación de la lente del sistema sea complicada. De esta manera, puede afirmarse que esta última puede hallarse en la línea de la visual sin caer en un escepticismo con respecto a su existencia. Como se mencionó anteriormente, en el caso de los cuásares distantes, hay evidencia espectroscópica de la presencia de materia absorbente entre el observador y los objetos lenteados, incluso cuando la ubicación de la lente sea imprecisa. Aun cuando los primeros intentos a la hora de realizar una interpretación fidedigna de las líneas espectrales fueron fallidos, la información extraída posibilitó el avance en la identificación futura de las lentes:

“Finally, information about very distant objects can be obtained even when they have been lensed... Just as ultraviolet waves are blocked from earthbound view by our atmosphere, so gravitational lensing would affect some features of lensed objects, but not all, so that the

lenses can be identified through those features which are affected in contrast to those which are not. On the other hand, the features which are not affected can give access to other sorts of information about lensed objects. One of many examples of such independence of different observable characteristics, making detection of a case of lensing possible and permitting knowledge of the lensed object to be obtained... Thus the occurrence of lensing itself and features of the objects lensed can be determined, at least in principle.” / “Finalmente, se puede obtener información de objetos distantes que han sido lenteados... Así como la atmósfera nos bloquea las ondas ultravioletas en nuestra vision terrestre, el lenteado gravitacional afecta algunas características de los objetos lentados, pero no todas, por lo que las lentes pueden ser identificadas a través de aquéllas propiedades que son afectadas en contraste con aquéllas que no lo son. Por otro lado, las características que no son afectadas nos permiten acceder a otro tipo de información sobre los objetos lenteados. Uno de los muchos ejemplos de tal independencia de diferentes características observables, detectando un caso possible de lenteado y permitiendo obtener conocimiento del objeto lenteado... Así se puede determinar “al menos en principio” la presencia del lenteado en sí y de características de los objetos lenteados. (Shapere, 1993, pp. 136-137)

Según Shapere, para favorecer una postura antirrealista, la incertidumbre planteada por Hacking requiere de una conspiración cósmica extrema. Esta última haría imposible obtener cualquier información que no esté tergiversada correspondiente al vasto número de propiedades observacionales asociadas a los objetos que conforman los sistemas de lentes gravitacionales. Sin embargo, es claro que esto no sucede al considerarse las lentes fuertes o débiles. Con respecto a los sistemas de mini-lentes, las lentes en sí suelen ser más difíciles de identificar. Ello se debe principalmente a que los objetos intermediarios que componen dichos sistemas se hallan a grandes distancias y suelen ser opacos (que no emiten luz propia, sólo la reflejan), o bien, si emiten luz, son difusos. Así, estrellas de baja masa, enanas marrones (sub-estelares), planetas u objetos astrofísicos compactos pueden ser lentes que no producen imágenes múltiples, pero sí “lentean” los objetos de fondo del sistema al aumentar considerablemente su brillo, entre otras características. No cabe duda que estos efectos son producidos por las micro lentes, incluso cuando no se tenga la certeza de que dicha magnificación sea causada por ellas mismas o por algún atributo del objeto “lenteado” o del sistema. Dado que tales lentes se encuentran distribuidas por doquier, su supuesta

indetección podría producir una imagen distorsionada del universo a gran escala y, por ende, conducir erróneamente a la construcción de teorías que proveen información falsa. Sin embargo, esto no es así. Según Shapere, los argumentos de Hacking son indefendibles al concluir, apresuradamente, sobre la inobservabilidad de estos objetos. Es una característica de esta clase de lentes producir imágenes simples, aunque con alteraciones morfológicas y variaciones en algunas propiedades (intrínsecas o extrínsecas) del objeto de fondo. Así, por ejemplo, el movimiento transversal (propio) de una estrella que “lentea”, con respecto a la línea de la visual del observador, puede generar una sucesión de efectos de centelleo a lo largo de su recorrido. Esto responde a la pregunta de Hacking sobre dónde está la lente; Shapere afirma su existencia a través de estos efectos observados:

“Further, as I have pointed out, even where the lensing object has not been found, that is no ground for doubting that lensing is occurring if there are other good reasons for supposing its presence.” / “Más allá, como he señalado aún donde no se ha encontrado un objeto que lentea no da lugar a la duda de que está ocurriendo un lenteado, a menos que halla alguna otra buena razón para no suponer su presencia.” (Shapere, 1993, p. 139)

Según este autor, de acuerdo a su réplica, la propuesta de Barnothy (sostenida por Hacking) no deja de ser una peculiaridad histórica. Hay suficientes razones para abandonar esta idea; la misma afirmaba que, en el contexto de descubrimiento de los cuásares, tales objetos no eran otra cosa más que espejismos, o sea, imágenes ficticias producidas por ciertas galaxias espirales (tipo *Seyfert*). No obstante, luego, el gran número de cuásares observados brindó un soporte evidencial robusto, desplazando cualquier tipo de ilusión o ficción posible. En esta dirección, el conocimiento teórico disponible puede ser considerado o bien rechazado, conforme a la base de la evidencia observacional con la que se cuenta. Shapere afirma que la ausencia de una referencia concreta del objeto astrofísico en cuestión no valida, de ninguna manera, el hecho de suprimir cualquier alternativa razonable, por más difícil que sea su aceptación. Por otra parte, dada la ubicuidad y distribución en el universo local, las micro-lentes gravitacionales no afectan por completo a galaxias y demás objetos extensos distantes. Si bien los efectos observacionales, producidos por tales lentes, son indistinguibles en

estos casos, ello no deja de lado la posibilidad de descubrir nuevas propiedades de las galaxias, como así también atributos desconocidos de la estructura del universo a escalas mayores. En este sentido, él sostiene que Hacking tiende a subestimar el conocimiento alcanzado por los astrónomos de finales de la década de 1980, al argumentar que los cuásares no son en absoluto clases naturales de objetos. Sin embargo, la comunidad astronómica de esa época se hallaba ante una extensa serie de evidencias que sugería, a través de diferentes propiedades observadas, que los cuásares son efectivamente cierto tipo de galaxias con núcleos activos (AGN). Además, Shapere asegura que Hacking exagera las dificultades que se tenían en ese entonces a la hora de interpretar de forma correcta la evidencia espectral disponible (líneas de absorción) de estos cuerpos celestes. A diferencia, la confiabilidad del soporte evidencial, es decir, la adquisición de datos fidedignos y su adecuada reducción y análisis, sugiere los procesos físicos involucrados entre el cuásar y el observador. Sea cual sea la naturaleza de la fuente astrofísica que genera dichas líneas, polvo, gas o materia oscura, la información siempre es valiosa para los astrónomos. Aunque Hacking se refiera a estos últimos como incapaces de procesar apropiadamente los datos, para Shapere resulta claro que ninguno de ellos consideraría esta línea de investigación como infructífera. Así, la presencia de una sola dificultad no conlleva necesariamente a adquirir una posición antirrealista. Según él:

“Hacking has ignored the fact that investigation of gravitational lensing is a new field full of the difficulties and doubts that afflict such fields at the frontiers of sophisticated science—not only astronomy, but all science. Other areas of astronomy (and of science generally) faced similar difficulties when they were new: Theoretical and observational techniques must be refined, and sometimes altered severely.” / “Hacking ha ignorado el hecho de que la investigación sobre el lenteado gravitacional es un campo nuevo lleno de dificultades y dudas que afectan los campos que se encuentran en las fronteras de la ciencia sofisticada – no solo a la astronomía sino que a todas las ciencias. Otras áreas de la astronomía (y de la ciencia en general) se enfrentaron a dificultades similares en sus comienzos: las técnicas teóricas y observacionales deben ser refinadas y a veces alteradas severamente.” (Shapere, 1993, p. 142)

Más allá de lo anacrónico que pueda parecer esta cita, la misma es aplicable en algunos ámbitos actuales de la astronomía que involucran casos como la naturaleza de la materia oscura y de la energía oscura, o bien, como el reciente descubrimiento de las ondas gravitacionales, por ejemplo. Aunque el modelado de fenómenos exóticos es común en las prácticas observacionales contemporáneas, no acarrea un antirrealismo en la astrofísica. Sin embargo, Hacking asevera que el uso de modelos en esta disciplina sí compromete a adoptar esta postura. La crítica de Shapere al respecto se basa en que sus afirmaciones, sobre el empleo de modelos, no dependen de los argumentos científicos sobre las lentes gravitacionales, sino más bien de consideraciones filosóficas. Incluso, este sesgo va más allá de un antirrealismo moderado, es decir, la manipulación de modelos inconsistentes y contradictorios es un factor común en la empresa científica. Hacking no provee un razonamiento convincente de su postura, dado que la noción de modelo que él propone es cuestionable y, a su vez, no está claro que la astronomía sea más propensa al uso de modelos que otras disciplinas; Shapere afirma:

“But even apart from that, it remains the case that, in any reasonable sense of the word, and regardless of the extent of their use, the occurrence of “models” in the field of gravitational lenses, or in astrophysics generally, does not preclude the possibility of a realistic account of the observed phenomena... Modeling of lens systems is not as bad off as Hacking believes.” / “Pero más allá de eso, se mantiene el caso de que, en cualquier sentido razonable de la palabra, e independientemente del alcance de su uso, la ocurrencia de “modelos” en el campo de las lentes gravitacionales, o en astrofísica generalmente, no se descarta la posibilidad de una explicación realista de los fenómenos observados... El modelado de los sistemas de lentes no es tan erróneo como Hacking lo cree.” (Shapere, 1993, pp. 143-144)

Los primeros modelos de lentes gravitacionales contenían observaciones imprecisas, eran poco sofisticados y omitían aspectos matemáticos y físicos importantes, necesarios para el modelado de estos fenómenos. No obstante, este conocimiento se incrementó notablemente y permitió interpretar correctamente las imágenes y sus efectos observados, tales como la magnificación del brillo, la ubicación y la distribución de la masa de los objetos perturbados. Así, los modelos más simples

fueron paulatinamente reemplazados por otros más complejos que poseen una mejor adecuación empírica. Pese al escepticismo de Hacking, mencionado en su obra de 1983, la mayoría de los astrónomos emplean modelos, mutuamente excluyentes, con el fin de no sólo de optimizar el cálculo, sino también de acrecentar tal adecuación. En consecuencia, el objetivo es explícito: lograr la mejor explicación disponible de lo que ciertamente acontece con respecto al fenómeno de las lentes y del resto de los objetos involucrados en el sistema. Desde esta perspectiva, el análisis planteado por este último autor presenta defectos propios de su sesgo filosófico, dado que su antirrealismo, referente a dichos sistemas, no se fundamenta en planteamientos astronómicos. Shapere sostiene que, en última instancia, esta postura debería ser más bien agnóstica, o sea, que podría haber razones para creer que tales objetos existen, aun cuando no se hayan observado la mayoría de sus propiedades observables. En esta dirección, y sin caer en un realismo ingenuo, la totalidad de los modelos presuponen la existencia de dichos fenómenos, es decir, tanto lentes como objetos modificados. Él indica lo siguiente:

“There may be things about gravitational lenses, or about the objects lensed, that we do not know now, and may never know. But insofar as we have specific grounds for believing that there are, those limitations are put on us by the facts we learn in the study of nature, and do not, by themselves, imply that the objects concerned do not exist. On the contrary, we can still—and do in fact—have reasons for believing that they do exist... The models used in astrophysics do not affect sought-for results in a way that cannot be improved or taken into account; they can be, and are often justifiably, accepted as realistic (or at least as more realistic than others) and used in further investigation.” / “Es posible que haya cosas que no conozcamos, o que quizás nunca lleguemos a conocer, sobre las lentes gravitacionales o sobre los objetos lenteados. Pero hasta tanto tengamos bases específicas para creer que existen, aquéllas limitaciones que se nos presentan por el hecho que aprendemos mediante el estudio de la naturaleza, por sí mismas, no implican que los objetos en cuestión no existan. Todo lo contrario, nosotros podemos -y de hecho lo hacemos- tener razones para creer que existen... Los modelos usados en astrofísica no afectan los resultados buscados de forma tal que no puedan ser mejorados o tenidos en cuenta; ellos pueden ser, y usualmente son de manera justificada, aceptados como realistas (o al menos más realistas que otros) y usados para futuras investigaciones.” (Shapere, 1993, p. 145)

Una de las críticas posteriores que efectúa este autor a la perspectiva de Hacking tiene que ver con el uso de las lentes como instrumentos de observación. Su antirrealismo se fundamenta además en la incapacidad de experimentar e intervenir sobre los objetos de tales sistemas gravitacionales. Shapere afirma que las implicancias antirrealistas de este último aspecto no son coextensivas con aquéllas correspondientes a los argumentos científicos de Hacking ni a su concepción de modelo, ni entre estas dos, inclusive. En este sentido, Shapere asegura que hay tres tipos de antirrealismos en su planteamiento, lo cual hace que su postura sea difusa. Ello significa que tal ambigüedad se aplicaría tanto en distintos ámbitos de la astronomía (planetaria, estelar y extragaláctica), como en el empleo de modelos. Así, poner énfasis en la capacidad de manipular los diversos objetos astrofísicos no conduce al mismo tipo de actitud filosófica que en los otros casos. Es decir, al utilizar modelos se puede interferir sobre los elementos modelados; a la inversa, si no se los usa, tampoco se podrían usar sus objetos y, sin embargo, se llegaría a la misma actitud.

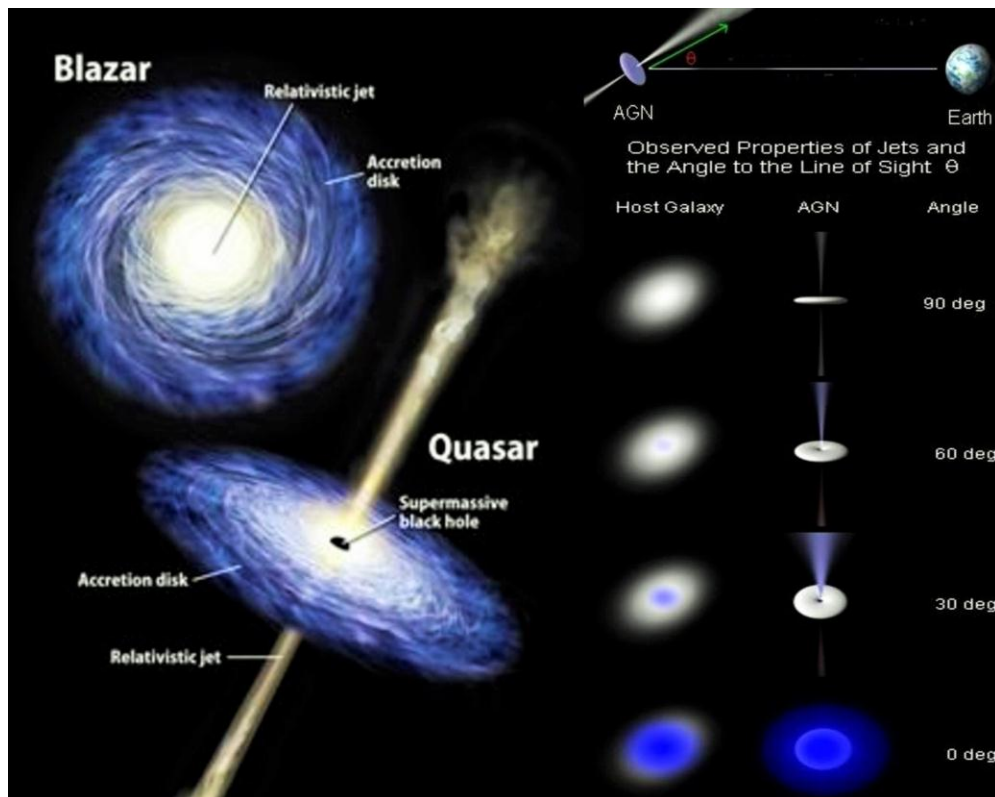
De esta manera, Hacking tiende a equiparar aquello que se pueda experimentar, con aquello que pueda usarse, igualmente en el caso contrario. Al cruzar ambas ideas de manera indistinta, en sus afirmaciones, la existencia de las entidades involucradas se define a partir de su uso como herramientas para la investigación. Su noción de manipulación es aplicada aquí para salvar cualquier diferencia entre ellas. Según Shapere, Hacking reconoce que las lentes, aun cuando no pueden ser intervenidas, son utilizadas como instrumentos para obtener nuevos conocimientos. Este último autor menciona, en palabras de los astrónomos, que las lentes gravitacionales son herramientas necesarias para indagar sobre cuestiones astronómicas relevantes, tales como la distribución de masas en las galaxias y sus sistemas, la determinación de valores de ciertas constantes cosmológicas, entre otras. No obstante, se resta importancia a estos aspectos cruciales de las prácticas observacionales actuales. Un claro ejemplo de esto es el uso de lentes gravitacionales en el reino de las simulaciones computacionales, a la hora de modelar estructuras del universo a gran escala (filamentos y supercúmulos). Incluso, se deja de lado el rol que tienen ciertos sistemas para determinar la presencia y la densidad de la materia oscura, aun cuando las líneas espectrales no han sido detectadas. De una u otra manera, las lentes son empleadas

actualmente en cosmología observacional para obtener información relevante que sólo a través de sus propiedades puede alcanzarse. Otro descuido crucial de Hacking al respecto, involucra la utilización de otro atributo observacional de tales lentes (su magnificación) como “telescopios” gigantes. Así, pese a la imposibilidad de interferir en dichos sistemas, ellos tienen usos importantes como instrumentos de investigación en la astrofísica. Según Shapere:

“But, again, the fact that there are problems as to whether the uses can be successful is hardly relevant to the realism-antirealism dispute as it applies to gravitational lenses and lensed objects. The fact that they may not prove successful is now ground for dismissing them as not being “uses” at all, and for leaving the role of those “uses” wholly unanalyzed, and still less for denying the existence of the entities involved. Apparently these “uses” do not count as uses for Hacking, but precisely because they do not constitute interferences.” / “Pero, de nuevo, el hecho de que existan problemas con respecto a si los usos puedan ser exitosos casi nunca es relevante para la disputa realismo-antirrealismo debido a que ésta se aplica a las lentes gravitacionales y objetos lenteados. El hecho de que no resulten exitosos sirve para desestimar los “usos” como tales, para dejar el rol de aquéllos “usos” completamente sin analizar, y para negar la existencia de las entidades involucradas. Aparentemente, estos “usos” no cuentan como usos para Hacking, pero precisamente porque no constituyen interferencias.” (Shapere, 1993, p. 147)

Shapere afirma que, en este estudio de casos particulares, Hacking no considera nada más allá de su posición con respecto a los objetos involucrados en dichos sistemas. Así, la utilización de estos últimos no sirve de evidencia ni para postular su existencia, ni para fundamentar un realismo de entidades en la astrofísica. Necesariamente, se debe intervenir sobre ellos. Si bien en este campo científico ello es imposible, Shapere asevera que tampoco hay razones para excluir cualquier uso sin intervención, es decir, emplear tales sistemas para descubrir aspectos nuevos tanto de las lentes, como de los objetos perturbados. De acuerdo a este último autor, aunque se establezca una nítida distinción entre los términos “uso” e “intervención”, la naturaleza siempre en este ámbito configura la situación de observación, sin necesidad de una manipulación estricta. Efectivamente, los astrónomos proponen y el universo dispone. A

través de las siguientes imágenes puede notarse cómo el criterio de clasificación de los cuásares, por ejemplo, depende en primer lugar de sus atributos intrínsecos tales como el tipo de galaxia que lo contiene, entre otros. En segundo lugar, también depende de ciertas propiedades extrínsecas como lo es su disposición cósmica. De esta manera, aquellos cuásares que están alineados con respecto al observador son denominados blázares, ya que uno de sus “jets” de materia está en dirección a la Tierra.



[FIG. V.5] ÁNGULOS DE LOS JETS CON RESPECTO A LA LÍNEA DE LA VISUAL.

Por otra parte, se piensa que la debilidad del análisis de Hacking reside en su concepción de la observación. Al situarla como subordinada de la actividad experimental rigurosa, la misma noción se diluye y pierde la capacidad de reflejar matices sutiles de relevancia epistemológica. Para Shapere, Hacking elude la importancia de la observación al ubicarla como una actividad pasiva, o sea, no interventiva. De este modo, las prácticas observacionales de la astronomía contemporánea se someten sólo a la contemplación del universo; por ende, sus métodos no experimentales son incapaces de brindar información sobre lo que existe y

lo que no. Sin embargo, para Shapere resulta claro que los astrónomos, al usar la información observacional disponible, consiguen adecuar empíricamente los modelos vigentes o bien construir otros nuevos, independientemente de si han intervenido o no.

V.3 Repensando la experimentación

Como se ha visto anteriormente, la posición de Hacking no se basa en una aproximación lingüística o representacional a la hora de justificar las creencias epistémicas sobre la existencia de entidades inobservables. En esta dirección, Little (2000) sostiene que tal enfoque interventivo está orientado a un análisis ingenieril más que teórico con respecto a un realismo de entidades en las ciencias naturales. Como se ha notado, dicha doctrina es inapropiada en el ámbito de la astronomía, de ahí el escepticismo de Hacking para con los objetos de la astrofísica. No obstante, Shapere defiende una postura realista en relación a los objetos de tal disciplina. Por su parte, Little intenta separar los argumentos filosóficos de Hacking, de sus argumentos epistemológicos. Así, como se mostrará más adelante, el experimentalismo puede disociarse en un realismo científico, o bien, en las prácticas experimentales propiamente dichas. En relación a este último aspecto, Little pone énfasis en otras características del concepto de experimentación propuesto por Hacking, sin restarle importancia al poder causal que implica la interacción con entidades. Además, aquí se sostiene que estas últimas, aunque sean intangibles en el sentido de que sólo pueden observarse, interactúan causalmente a través de sus atributos físicos. De esta forma, en la astronomía, podría descartarse un realismo de objetos, pero no de propiedades.

Little afirma que, al momento de generar nuevos conocimientos, la observación pasiva es sustituida por una actitud experimental, invasiva y controlada, a fin de revelar los secretos de la naturaleza. Esta autora parafrasea a Hacking diciendo que el desarrollo de la ciencia, guiado sólo por la actividad teórica, posee dificultades básicas. Ellas ciegan a los agentes epistémicos en cuanto al lado interventivo de la ciencia y los confunde al establecer reglas de correspondencia que conectan entidades representacionales con los fenómenos observados del mundo. Sin embargo, a diferencia de otras ciencias físicas, los astrónomos no pueden manipular e intervenir

sobre sus objetos de estudio y, menos aún, sobre aquéllos inobservables. Ello conduce a Little, siguiendo a Hacking, a cuestionarse si la astrofísica es o no una ciencia natural y si cabe en ésta algún tipo de actividad experimental. Este último autor sugiere que, exceptuando la escasa intervención sobre algún que otro cuerpo del sistema solar, la exploración galáctica es ciencia ficción y la experimentación extragaláctica es una mala broma. Contrariamente a este eslogan, aquí se sostiene que experimentar (directa o remotamente) sobre la superficie lunar, o de un cometa cercano, es campo de geología planetaria y no estrictamente de la astronomía observacional. En esta dirección, lo mismo ocurre si se llevan a cabo experimentos de distinta índole no “sobre”, sino “en” la Luna, Marte o en algún asteroide. Este es un claro ejemplo de interdisciplinariedad entre ciencias naturales muy variadas. Sin ir demasiado lejos, lo mismo sucede al manipular la luz, a través de aparatos, proveniente de los objetos astronómicos más distantes. Incluso, se piensa que es factible la intervención en el modelado computacional de ciertos fenómenos, ya sean galaxias o cúmulos de ellas. Así, se considera viable una experimentación no estricta o débil que incluye una multiplicidad de prácticas observacionales que van desde simulaciones por computadora, pasando por el automatismo de los sistemas instrumentales actuales, hasta las técnicas empleadas asociadas a diferentes campos de la física experimental. En este sentido, es impensable considerar que la astronomía no involucra actividades experimentales de este tipo y, menos aún, que no sea una ciencia natural. La debilidad de un experimentalismo está ligado acá a la imposibilidad de manipular sobre los objetos de la astrofísica, pero no a la capacidad de poder intervenir sobre sus propiedades.

Dado que en la astrofísica la experimentación es, aparentemente, incapaz de llevarse a cabo; para Hacking todo lo que resta son modelos que sólo permiten establecer descripciones de los fenómenos que ellos consideran. Little va en otra dirección, es decir, la experimentación no necesita ser tomada de esta manera. Pese a que entre las ciencias físicas de lo micro y de lo macro existen diferencias sustanciales, ellas no condicionan la actividad experimental subyacente. Según ella, esta última posee diferentes grados de control asociados tanto al conocimiento sobre la influencia causal de las entidades experimentales (el cual restringe el diseño del instrumental empleado), como a los aparatos y piezas de equipo (que controlan diversas

propiedades de los objetos en cuestión) y, por último, a los científicos quienes estabilizan las relaciones causales entre ambos. De esta manera, el diseño de los radiotelescopios, por ejemplo, está basado en cómo interactúan ciertas ondas de radio con la estructura misma del aparato. Por otro lado, las propiedades observacionales provenientes de ciertas radiofuentes astrofísicas (pulsares y galaxias activas, entre otras) pueden canalizarse a través de una o de varias antenas parabólicas, en caso de tratarse de un radiointerferómetro. Posteriormente, los datos obtenidos son procesados de tal forma que pueden ser representados visualmente en sus diferentes instancias, es decir, en las etapas de reducción y de análisis. Así, al discriminar la señal física del ruido (intrínseco o extrínseco), puede diferenciarse la información relevante de aquella que no lo es, permitiendo cierta estabilidad epistémica y la observación de los fenómenos bajo investigación.

Según Little, los elementos más importantes que constituyen la situación o el hecho experimental pueden o no ser físicos y, en la mayoría de los casos, suelen ser controlados. Ello significa que, además, están presentes ciertos aspectos cognitivos a la hora de construir los aparatos, como así también al momento de diseñar una observación determinada. Esta última, como se hizo notar anteriormente, se halla configurada por una serie de condiciones (iniciales y de contorno) físicas, epistémicas e idiosincráticas que ordenan tal situación. El interjuego entre instrumentos, técnicas y prácticas experimentales nutren la misma observación. Esta autora sostiene lo siguiente:

“Cognitive control is also accountability: laboratory conditions exist where – to the extent it is possible or feasible – all factors going into a test can be accounted for, from the initial conditions, to the workings of the mechanism that process the experiment, to an interpretation of the output... In astronomical experimentation (if we may call it such), Hacking has his finger on an important point: there is a real issue regarding the nature of what exactly is going on at the experimental source out in space. If we evaluate that situation only in terms of having physical power over, it looks rather hopeless. But inability to exert power over initial conditions is not synonymous with being completely in the dark about them. The recognition of the range of possible initial conditions exceeding the experimenter’s ability to determine or compensate for them is mirrored in a broadening of the terms in which the results are interpreted.” / “El control

cognitivo es también responsabilidad: las condiciones de laboratorio existen donde – hasta tanto sea posible o plausible – todos los factores involucrados en una prueba pueden ser explicados, desde las condiciones iniciales, hasta los mecanismos que conducen el experimento, y la interpretación de su resultado... En la experimentación astronómica (si se puede llamar así), Hacking señala: hay una cuestión principal que tiene que ver con la naturaleza de lo que exactamente está sucediendo en la fuente experimental afuera en el espacio. Si evaluamos tal situación solo en terminos de tener ese poder físico, resulta desalentador. Pero la incapacidad de ejercer poder sobre las condiciones iniciales no es sinónimo de permanecer completamente en la oscuridad con respecto a ellas. El reconocimiento del rango de las condiciones iniciales posibles que exceden la habilidad del experimentador para determinarlas o compensarlas se refleja en la amplitud de los términos en los cuales los resultados son interpretados. (Little, 2000, p. 4)

En este sentido, y pese a que los astrónomos no controlan sus objetos de estudio, resulta claro que la situación observacional está ligada a una variedad de factores que sí son efectivamente controlables. Estos últimos van desde intervenir sobre los atributos de los fenómenos observados al manipular su luz, hasta dominar el sesgo de los observadores a la hora de interpretar los datos. Aun cuando la incapacidad de experimentar con los objetos astronómicos genere cierto grado de incerteza, Little sostiene que no es razón suficiente para negar una experimentación débil en este ámbito, es decir, sobre algunas propiedades astrofísicas de dichos fenómenos. De esta manera, ella considera que los astrónomos no experimentan de la misma forma que los físicos; o sea, en las prácticas empleadas por aquéllos, la experimentación está supeditada a la observación y no al revés, como es en el caso de estos últimos. A su vez, a fin de distinguir las prácticas astronómicas de las ingenieriles, esta autora establece una diferencia entre la actividad general de testear (una hipótesis, una pieza de equipo o una técnica dada) y la de experimentar como un modo específico de testeo. Como se mostró en los primeros capítulos de esta tesis, el trabajo interdisciplinario enriquece las prácticas astronómicas actuales, las cuales dependen del desarrollo y de los adelantos tecnológicos de los sistemas instrumentales. Así, ellas se nutren ampliamente por el cruce entre diferentes comunidades de ingenieros, con “sensibilidad” astronómica, y de astrónomos, con “sensibilidad” instrumental. Ambos, los

operadores y los observadores, son la interfase que posibilita la retroalimentación entre esta ciencia natural y la tecnología disponible. Sin embargo, siguiendo a Little, Hacking parece entender la relación entre testeo y experimentación de forma diferente, donde chequear es condición necesaria, pero no suficiente, de la actividad experimental. En esta dirección, todos los experimentos son puestos a prueba, pero no todos los testeos son experimentos. Por esta razón este último autor sostiene que los astrónomos no experimentan, sólo chequean, como se mencionó arriba, en el amplio sentido de la palabra.

A diferencia, Little afirma que se puede invertir el peso de la prueba entre ambas actividades, es decir, si un testeo específico cuenta como un experimento, no todos los experimentos son chequeos exitosos. Así, esta perspectiva se aproxima más a la idea de experimento que propone Hacking (1983), la cual asevera cierta autonomía entre la experimentación y la teorización en el caso del descubrimiento de la radiación cósmica de fondo de microondas. En este estudio de caso, esta autora sostiene que los astrónomos observacionales involucrados fueron capaces de desarrollar distintas habilidades cognitivas, al margen del desarrollo teórico, que condujeron a dicho descubrimiento. En tal ejemplo, la experimentación fue un modo de llevar a cabo una serie de testeos que involucraron tanto la confirmación de conjeturas y presunciones, como la calibración y prueba de instrumentos. De esta manera, los astrónomos experimentan cuando llevan a cabo chequeos exhaustivos que permiten explicar, a partir de sus conocimientos, lo que sucede con los elementos que intervienen en cada instancia del proceso observacional, por más sofisticado que éste sea.

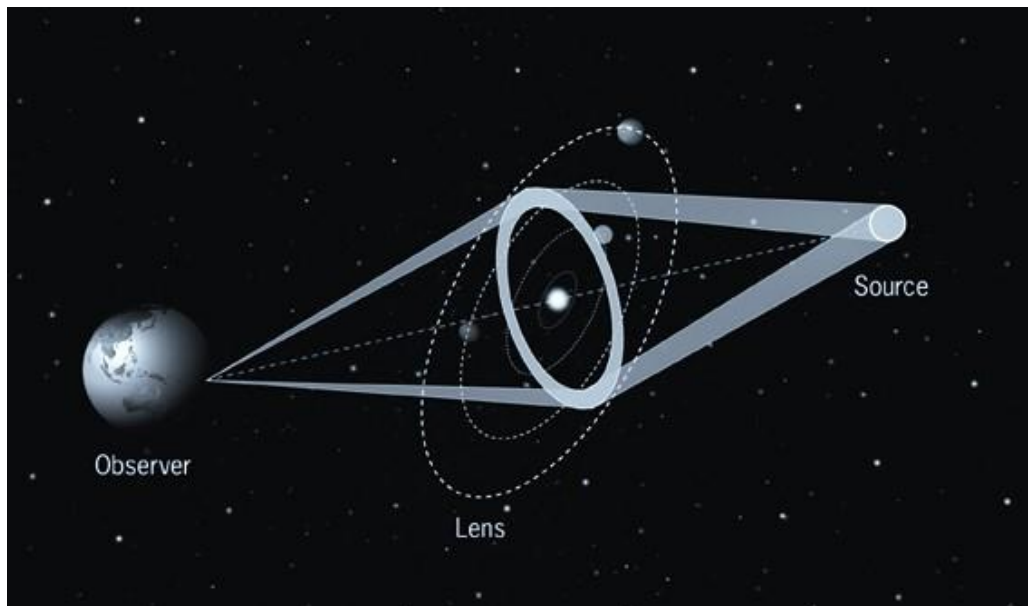
Referente al caso de las de lentes gravitacionales, Little asegura que lo que plantea Hacking es erróneo con respecto a que los astrónomos, a partir de la observación de los efectos producidos por tales sistemas, infieren la existencia de las lentes que los causan. Si bien ella no desarrolla este aspecto importante, cabe reiterar aquí que la problemática gira en torno al concepto de observación subyacente. Como se indicó antes, la cuestión radica en distinguir la observación de la observabilidad. Al considerar las lentes sólo como objetos, Hacking deja de lado cualquier propiedad o atributo observable de las mismas. Así, las lentes (sean o no observables) son objetos inferidos, no observados. Sin embargo, lo que se quiere mostrar acá es el rol clave de

la experimentación en las prácticas observacionales inherentes a dichos fenómenos astrofísicos. Para ello, Little ofrece una caracterización, para el ámbito de la astronomía en general, de la noción de experimento:

“An activity under controlled and/or known conditions where the experimenter works with the causal powers of an entity in order to reveal (possibly by creating anew) a phenomenon stable enough to be accurately measured.” / “Una actividad bajo condiciones controladas y/o conocidas donde el experimentador trabaja con las fuerzas causales de una entidad para revelar (posiblemente al crear de nuevo) un fenómeno lo suficientemente estable para ser medido con precisión.” (Little, 2000, p. 7)

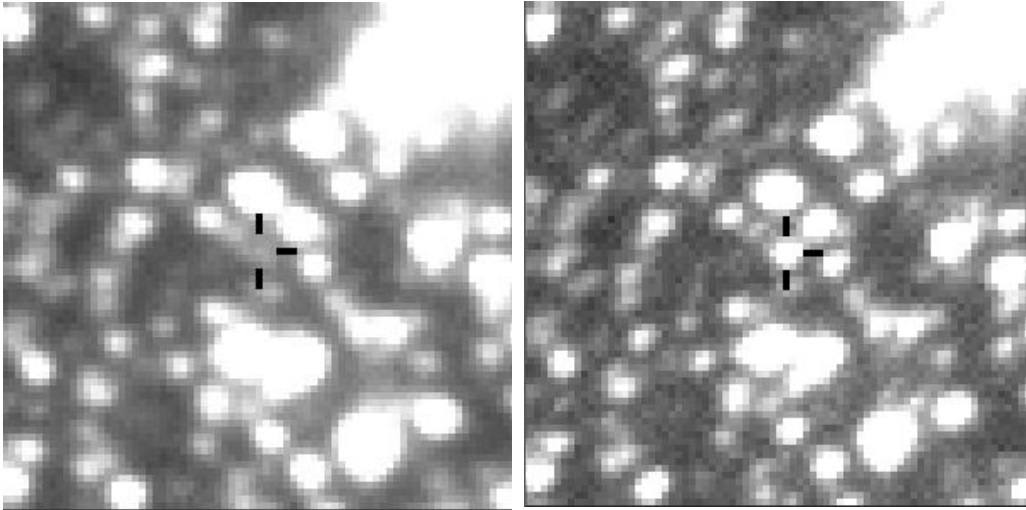
Basándose en esta cita, ella se pregunta dónde está el inconveniente con la actividad experimental en esta disciplina, aparentemente, más contemplativa. Little descarta la respuesta de que los astrónomos no experimentan con dichos fenómenos dado que éstos no son capaces de controlar todas las condiciones implicadas, ni de manipular estos sistemas para producir efectos experimentales deseados. Esta autora afirma que esta cuestión no está bien encaminada y propone desarrollar ciertas investigaciones sobre microlentes gravitacionales. En primer lugar, ella piensa que en la astronomía los problemas tienen su resolución cuando se obtienen datos observacionales más precisos, en vez de realizar una búsqueda ciega de causas perdidas. En esta dirección, la misma centra su respuesta en aquellos proyectos de investigación asociados a la detección y exploración de sistemas binarios de minilentes. En particular comienza mencionando los objetivos y hallazgos del proyecto OGLE (*Optical Gravitational Lensing Experiment*), el cual podría considerarse como el antecesor de otros recientes como el MOA (*Microlensing Observations in Astrophysics*), el Observatorio Wise operado por la Universidad de Tel Aviv, o el proyecto PLANET (*Probing Lensing Anomalies NETwork*). Todos ellos buscan candidatos posibles de materia oscura ordinaria o normal, como así también intentan mejorar las técnicas actuales y desarrollar otras nuevas en lo referente a la búsqueda de planetas extrasolares. En pocas palabras: la luz de una fuente estelar, al atravesar una microlente, incrementa su brillo de forma notable por un lapso de tiempo dado (en función de su alineación con el observador) antes de regresar a su intensidad original.

Sin embargo, las primeras observaciones revelaron que la curva de luz del objeto “lenteado” presentaba un patrón diferente al esperado. Por esta razón, se pensaba que la lente debería ser un sistema estelar binario, o sea, una estrella doble que produce la deflexión de los rayos luminosos provenientes del objeto fuente. Pese a que esta detección era inesperada, su descubrimiento fue importante en aquél entonces, debido a que la curva de luz observada ajustaba precisamente con aquellos modelos teóricos, de principios de 1990, que consideraban sistemas gravitacionales con minilentes dobles. No obstante, en esa época, también surgió la hipótesis de que no se trataba de un sistema gravitacional con una lente binaria, sino que la curva de luz del objeto de fondo podía corresponderse a una nueva clase de estrella variable (intrínseca o extrínseca), no observada hasta ese momento. Posteriormente, nuevas observaciones esclarecieron esta cuestión y descartaron ambos supuestos, confirmando la presencia de minilentes constituidas por planetas extrasolares vinculados a estrellas.



[FIG. V.6] MICROLENTE CON UN SISTEMA PLANETARIO ASOCIADO (ARRIBA).

CAMBIOS EN EL BRILLO DE UNA ESTRELLA POR UN EXOPLANETA (ABAJO).



Según Little, pese a que los astrónomos son incapaces de viajar por el espacio y de chequear directamente (a ciertas escalas) dichos fenómenos, lo único que pueden hacer es aguardar que las fluctuaciones del brillo se repitan. Aun así, como se mencionó reiteradas veces, tal incapacidad tecnológica no implica la inobservabilidad de estos objetos, pero sí dificulta su observación. Dada la baja probabilidad de que el evento de microlente en relación a la estrella de fondo se reitere, cabe la posibilidad de que su variabilidad, aunque extraña, sea propia. Por esta razón, esta técnica es complementaria de otras, como las presentadas en el diagrama anterior. De una u otra manera, con bases de datos más confiables, el soporte evidencial provisto por nuevos catálogos de objetos astrofísicos transitorios permite controlar las condiciones de la situación observacional. Por otro lado, como se mostrará en el ejemplo astronómico del apartado siguiente, el empleo de prácticas observacionales basadas en efectos de lentes gravitacionales fuertes y débiles, facilita a que los astrónomos puedan explicar el rol de la materia oscura en los estudios de la dinámica de cúmulos de galaxias en proceso de colisión, tal como el fenómeno conocido como “Cúmulo Bala” (*Bullet Cluster*). Sin entrar en más detalles, en este estudio de caso se emplean, además de prácticas basadas en estos tipos de lentes, técnicas astro-informáticas, como así también simulaciones computacionales²⁸. De esta manera, el rol de la computación en

²⁸ Cabe destacar que en esta línea de investigación se han desarrollado códigos computacionales para identificar automáticamente esta clase de cúmulos interactuantes, generando un catálogo de los mismos (de los Ríos et al., 2016). Así, el algoritmo MeSsl (Merging Systems Identification) explota al máximo las

los observatorios actuales, mediante la automatización de los sistemas multi-instrumentales, como en los laboratorios astronómicos, mediante el procesamiento y el análisis de datos observacionales y simulados, posibilita el desarrollo de una parafernalia de actividades tecno-científicas que cruzan otras comunidades y otorgan vida propia a las prácticas astronómicas contemporáneas. A fin de destacar los rostros epistémicos de una experimentación no estricta, subordinada a la observación de esta ciencia natural milenaria, Little concluye su artículo con lo siguiente:

“What researchers lack in controlling initial conditions they perhaps make up in terms of pooled techniques and data both within and across subdisciplines... A striking example, which is worth the writing of another paper, is the collaboration of optical, gamma-ray and radio astronomers in honing down the source of gamma-ray bursters... That these observations are taken with equipment designed to work with causal properties of unobservable entities, that the causal powers of the entities are controlled by these devices in such a way as to create a stable effect are indicative that to the extent that astronomers are able, these works on gravitational lensing are experiments.” / “Aquello que les falta a los investigadores para controlar las condiciones iniciales, quizás lo compensan en términos de técnicas y datos que llenan dentro y a través de las subdisciplinas... Un ejemplo sorprendente, del cual valdría la pena escribir otro artículo, resulta de la colaboración de los astrónomos ópticos, de rayos gamma y de radio para perfeccionar la fuente de explosiones de rayos gamma... El hecho de que estas observaciones son tomadas con equipamiento diseñado para trabajar con propiedades causales de entidades inobservables, y el hecho de que las fuerzas causales de las entidades son controladas por estos dispositivos de manera tal que puedan crear un efecto estable nos indican hasta dónde son capaces de llegar los astrónomos, los trabajos sobre lenteado gravitacional son experimentos.” (Little, 2000, p. 9)

técnicas disponibles de aprendizaje automático supervisado, empleadas para el “reconocimiento” de patrones observacionales sobre bases de datos convencionales y bases de datos provistas por simulaciones cosmológicas (Millenium). Ello permitió que los astrónomos, además de determinar el estado dinámico de estos fenómenos observados, puedan implementar una técnica de agrupamiento de objetos (mixtura de gaussianas) que sirve para identificar las galaxias que conforman cada cúmulo y definir su masa y dispersión de velocidades. A su vez, esto posibilita un estudio estadístico minucioso de las propiedades observacionales de la materia oscura, presente en tales procesos de interacción.

V.4 La evidencia

En esta sección se intentan explorar los diferentes tipos y grados de evidencia y sus cruces con las prácticas observacionales actuales. Para el sentido común astronómico, la evidencia se relaciona con datos observacionales o con bases de datos obtenidos que pueden estar a favor o en contra de ciertas hipótesis o teorías. Estos datos pueden tener diferentes “pesos epistémicos” a la hora de ser comparados en una situación observacional dada. Así, pueden constituirse en una evidencia, posiblemente mejor que otra, para una determinada hipótesis, o bien, para una hipótesis alternativa. El combinar y oponer evidencias diversas puede sugerir una estrategia inferencial abductiva, la cual se relaciona con la generación de hipótesis y permite seleccionar la mejor explicación o la justificación más probable. Además, un dato menor puede resultar en una evidencia fuerte cuando se mejora o cambia el diseño de observación, permitiendo identificar una o varias propiedades astrofísicas nuevas de un objeto en particular.

Sin embargo, las variadas caracterizaciones filosóficas que ha tenido y tiene la noción de evidencia distan mucho de estos aspectos mencionados, aunque sin duda están en el origen de la controversia y de la reflexión misma. De esta manera, diversas variantes del fundacionalismo, tanto internalistas como externalistas, han sido atraídas por versiones proposicionales de la evidencia. También la corriente del evidencialismo sostiene que son las proposiciones las que constituyen una evidencia y no los objetos en sí, es decir, que son estas proposiciones las que son o no creídas y justificadas. El factor común de estas doctrinas diferentes es que permite un tratamiento de cierto tipo entre las diferentes relaciones proposicionales. A diferencia, Woodward (1989, 2000) sostiene que los datos sirven como evidencia de los fenómenos y son relaciones empíricas las que articulan esta evidencia. Este enfoque no sitúa a la evidencia entre la teoría y los fenómenos, sino entre estos últimos y los datos observacionales. Aunque dicha caracterización es importante, la misma descuida criterios de observabilidad relevantes en las prácticas astronómicas contemporáneas. A fin de ilustrar esto último, se desarrollará el caso de la materia oscura, como polvo no colisional e interactuante gravitatoriamente, desde la perspectiva de las investigaciones del universo a gran escala. Posteriormente se extenderá este ejemplo, vinculándolo con la problemática

actual asociada a la producción masiva de datos observacionales, su tratamiento e interoperabilidad.

V.5 Conceptos de evidencia

Los diferentes enfoques filosóficos del concepto de evidencia aseguran que lo que cuenta como tal no consiste en un conjunto de objetos físicos o incluso de experiencias, sino más bien en un conjunto de proposiciones, las cuales van a legitimar aquéllas que se consideren relevantes. De esta manera, las proposiciones pueden ser creídas o no. Así, pueden ser presentadas en relaciones lógicas unas con otras y pueden manipularse de forma tal que permitan compararse, combinarse, negarse, unirse, etc. El hecho de articular un determinado sistema de creencias como proposiciones relacionables posee la ventaja de que puede ser trabajado matemáticamente desde la probabilidad bayesiana. En este sentido, puede aplicarse una distribución de probabilidad entre aquellas proposiciones en cuestión, siendo esto imposible con los objetos y fenómenos del mundo físico. La maquinaria de Bayes permite establecer diferentes grados de evidencia, los cuales pueden ser representados de manera cualitativa (positivos o comparativos) o cuantitativa (de forma numérica). Esta última representación, dada su mayor capacidad expresiva mediante la aproximación con valores numéricos, puede incluir a la anterior.

Achinstein (2001, 2010) distingue dos definiciones en la teoría bayesiana de la probabilidad que permiten caracterizar distintas nociones de evidencia. Así, estas últimas pueden interpretarse a partir de una versión objetiva de la probabilidad, es decir, basada en la frecuencia en la que aparecen ciertos fenómenos naturales; o bien, a partir de una versión subjetiva de la probabilidad, la cual depende de creencias o grupos de éstas pertenecientes a sujetos particulares. En este último caso, la evidencia para una hipótesis dada está definida en función de la información de fondo considerada por una cierta persona en un tiempo específico. Según Achinstein, el único requerimiento es que los grados de credibilidad de las proposiciones de un sistema determinado sean probabilísticamente “coherentes” con los axiomas del modelo matemático. A los fines de este apartado, no se tratarán estos detalles técnicos; sólo se

hará notar que esta perspectiva bayesiana conduce a una interpretación subjetiva de la evidencia. Por otra parte, McGrew (2011) sostiene que la ventaja de representar un sistema de creencias epistémicas mediante un conjunto masivo de negaciones, conjunciones y disyunciones proposicionales, permite una comprensión simple e intuitiva a la hora capturar grados de credibilidad. Sin embargo, una función de probabilidad aplicada a tal conjunto de proposiciones, es decir, con valores numéricos precisos, puede alejar cualquier contacto con la experiencia.

En esta dirección, algunas concepciones del fundacionalismo (Bonjour, 1985, 2002) sostienen que ciertas creencias pueden justificarse a la luz de la experiencia. Ello significa que la evidencia puede estar vinculada con otras creencias o proposiciones creídas, o bien, a diferentes estados mentales inherentes a la experiencia sensible del sujeto epistémico. Por un lado, una experiencia particular provee el soporte evidencial para una proposición cuando alguna propiedad de un objeto percibido por un sujeto determinado justifica su creencia acerca del mismo hecho experiencial. Así, al afirmar que un objeto percibido justifica una creencia dada, quiere decir que la persona que lo observa es inducida a cierta clase de estado interno, el cual lo lleva a inferir un atributo físico del objeto y no otro, por ejemplo. Estas características son expresadas en términos de proposiciones, las cuales pueden o no estar justificadas. Por otro lado, la evidencia para una creencia determinada puede ser otra creencia que le confiere justificación. Esto último se da sólo cuando la creencia que transfiere, ya ha sido justificada. A diferencia de la posición de Bonjour, Sosa (1980) sostiene que los estados experienciales no justificados también pueden contar como evidencia. Desde este punto de vista, no todas las experiencias justifican las proposiciones o enunciados respecto del objeto observado. Aunque algunas creencias básicas puedan ser justificadas por la experiencia más que por otras proposiciones fundacionales, las mismas no necesitan auto-justificarse. En este sentido, aunque diversos estados de la experiencia puedan transmitir cierta justificación, otros en cambio la generan. Ello permite combatir, de alguna manera, el argumento de la regresión infinita en la justificación de creencias. Sin embargo, aunque la experiencia sensible pueda proveer la justificación de una proposición particular, lo que llevaría a afirmar que la misma experiencia es evidencia,

el precio que se paga por un tratamiento proposicional resulta ser demasiado alto en esta versión internalista.

Por otra parte, el evidencialismo sugiere que el estatus epistémico de una creencia depende completamente de la evidencia disponible (Chisholm, 1977; Feldman and Conee, 1985, 2004). Esta posición internalista sostiene que debe restringirse de manera objetiva el sistema de creencias considerado. Desde este punto de vista, los desacuerdos en la evaluación de ciertas proposiciones o hipótesis se deben justamente a diferencias entre grados de la evidencia admitida, o bien, a la falta de la objetividad requerida en el tratamiento de dicho sistema. Una de las críticas más fuertes elaboradas, en contra de esta doctrina, se apoya en lo excesivamente estricto que puede resultar el criterio de objetividad propuesto. Ciertamente, las personas razonables y bien informadas, tanto en la vida diaria como en las prácticas científicas contemporáneas, no siempre estarán de acuerdo. Así, los diferentes usos del término “razonable” y de la expresión “bien informado” dista mucho del uso que hace el evidencialismo para referirse a los conceptos de objetividad y a la noción de gradación evidencial. Según McGrew, la mezcla entre un uso común y vago y un uso filosófico es uno de los puntos débiles de este enfoque fundacional. A los propósitos de este capítulo, no se desarrollará en detalle los diferentes alcances, rostros y críticas de estos dos enfoques del fundacionalismo. En adelante, se tomarán bajo consideración algunas características presentadas por la perspectiva externalista conocida como confiabilismo.

V.6 Datos y fenómenos

El confiabilismo defendido por Goldman (1986) sostiene que el soporte evidencial es necesario, pero no suficiente, para la justificación epistémica de creencias. Ello implica que una hipótesis dada puede estar determinada causalmente de manera confiable, aún si las evidencias disponibles no son consideradas de forma plausible, es decir, como pruebas aceptables o admisibles para la justificación. En esta dirección, Woodward adquiere una posición diferente al modelo filosófico estándar de restringir la noción de evidencia a relaciones de tipo lógico entre proposiciones. Él sostiene que los datos observacionales sirven como evidencia para los fenómenos del mundo físico.

Desde esta perspectiva, las relaciones evidenciales son empíricas y generan un patrón que depende de situaciones dadas tanto en el ámbito de los datos disponibles como en el entorno de las conclusiones arribadas por los investigadores de los fenómenos.

Woodward (1989) elabora una distinción entre fenómenos y datos, la cual afirma que los primeros son efectos o procesos estables y repetibles en la naturaleza, mientras que los segundos son registros producidos por la medición y el experimento. Los fenómenos son objetos potenciales de la predicción y de la explicación de las teorías y pueden servir como evidencia de las mismas. A diferencia, los datos sirven como evidencia de la existencia de ciertos fenómenos o de algunas de sus propiedades o atributos físicos. Según este autor, cuando los datos juegan este rol no sólo reflejan la influencia causal de los fenómenos de los cuales ellos son evidencia, sino además representan las operaciones locales y las características singulares (*idiosyncratic features*) que subyacen en los instrumentos de medición y en los diseños experimentales que los producen.

De esta manera, los datos son producto de procesos complejos que involucran diversos factores causales. Esto implica la ardua tarea de desentramar las diferentes capas que conforman al dato como tal. Así, las características presentadas se hallan vinculadas tanto a la teoría del fenómeno considerado, como así también a la información de base sobre los instrumentos y piezas de equipo empleados. Woodward afirma que, para poder analizar dichas características, presentes en los datos, es necesario complementar la teoría del fenómeno en cuestión con las teorías inherentes a los aparatos de medición usados. Sin embargo, él sostiene que este análisis no posee un rol importante a la hora de definir patrones de razonamiento entre los datos y el fenómeno. Este autor destaca que los datos fotográficos, por ejemplo, poseen poca relevancia evidencial con respecto a la capacidad de reducción de sus propias características a partir de los hechos observados. De esta manera, lo importante es el uso práctico que se le otorga a estas representaciones visuales pictóricas para discriminar de manera confiable “señal” y “ruido”, es decir, para separar atributos válidos y no válidos del objeto observado. Así, las inferencias sobre propiedades observables parten de los datos hacia los fenómenos, y no al revés. Este autor además sostiene que la relación entre fenómenos y datos contrasta con la idea clásica de que

las teorías poseen reglas deductivas que permiten asociar las afirmaciones teóricas con las observacionales. Sin embargo, Bogen y Woodward (1988) intentan reemplazar esta estructura bipartita por otra más compleja compuesta por afirmaciones de teorías, de fenómenos y de datos. Estas dos últimas no se hallan determinadas por la teoría, lo cual permite un tratamiento de tipo empírico de sus relaciones. En este sentido, Woodward rescata esta emancipación como un aspecto importante de las prácticas científicas actuales. Él cita a Achinstein, quien sostiene que las teorías rara vez proveen las guías o heurísticas para el diseño y la construcción de observaciones y experimentos, a partir de los cuales se producen los datos necesarios para contrastar dichas teorías.

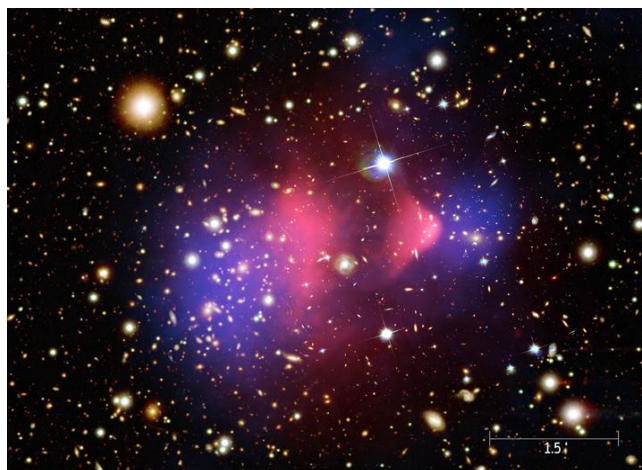
De esta manera, Woodward distingue entre la producción de los datos y la interpretación de los mismos. Con respecto a la fase de producción, este autor se refiere a los diferentes procesos de interacción causal que son llevados desde los fenómenos a los datos, es decir, desde la fuente, a través de la transmisión, hasta la recepción por parte del sistema de observación. En este sentido, como se mostró en capítulo anterior, Kosso (1988, 1989) afirma como “dimensión” posible de la observabilidad, la *rectitud* o el *carácter directo* en el número de intermediarios o de múltiples mensajeros requeridos en la transmisión de la información del estado inicial del objeto al estado final del observador humano. Aunque esta clase se halla asociada a una noción de interacción no causal, está estrechamente relacionada con la interacción física de la señal que se transmite desde la fuente hasta el receptor apropiado. Por otro lado, la interpretación de los datos involucra el uso de argumentos, de técnicas analíticas y de patrones observacionales a la hora de obtener inferencias de propiedades físicas de los fenómenos considerados. Así, la interpretación de datos se basa en diferentes técnicas de análisis y de reducción, tales como procedimientos estadísticos varios, que permiten generar enunciados observacionales que van a justificar aquellas proposiciones relativas a los objetos bajo investigación.

La tesis que defiende Woodward sostiene que en los casos donde los datos sirven de evidencia para ciertas afirmaciones de fenómenos, las relaciones allí presentes van a conformar un tipo de patrón sensible a estos datos y a las conclusiones de los científicos respecto a dichos fenómenos. Por un lado, los investigadores pueden

considerar un conjunto de proposiciones, exhaustivas y mutuamente excluyentes, el cual representa una amplia variedad de aserciones posibles del fenómeno bajo estudio. Por otro lado, los distintos mecanismos de producción de datos son capaces de proveer una amplia variedad de éstos. Así, la interpretación de tales datos consiste en sacar conclusiones de tal manera que las afirmaciones sostenidas sean correctas a la luz de este soporte evidencial. Debido a que los diversos procesos de detección y de medición pueden generar diferentes clases de datos, los científicos utilizan las bases más confiables conforme a los enunciados particulares de objetos que deseen probar o justificar.

V.7 Ejemplo astronómico (primera parte)

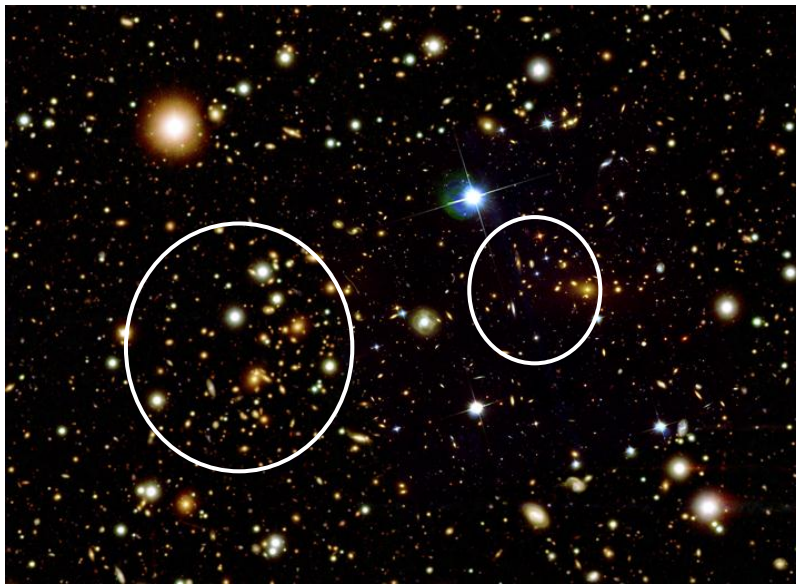
En el contexto de la cosmología actual, la necesidad de modificar la teoría de la gravedad o de postular entidades hipotéticas, como la materia oscura, surge a partir de la explicación de diversos escenarios observacionales como aquellos propuestos por las investigaciones de la dinámica de cúmulos de galaxias. Específicamente, se toman bajo consideración ciertas evidencias disponibles correspondientes a selecciones de datos que sugieren la existencia de esta materia exótica. En este estudio de caso se analiza la observación del objeto astrofísico conocido como “cúmulo bala”, el cual presenta aspectos remanentes de un choque de dos cúmulos de galaxias (Tucker et al, 1998).



[FIG. V.7] BULLET CLUSTER. DATOS PRODUCIDOS POR LOS TELESCOPIOS ESPACIALES HUBBLE (ÓPTICO) Y CHANDRA (RAYOS X).

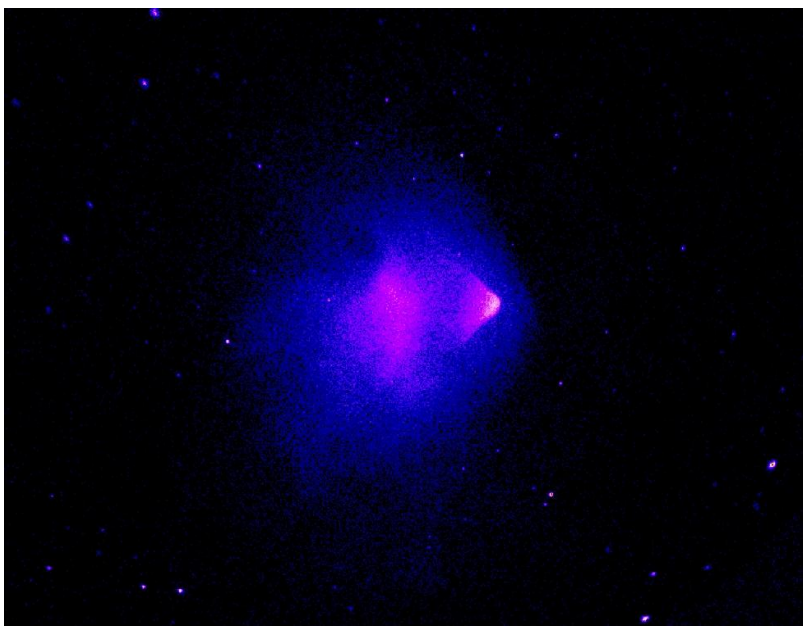
Este objeto es considerado por la comunidad astronómica como una “evidencia extraordinaria”; parafraseando a Carl Sagan, una hipótesis extraordinaria, tal como la materia oscura, requiere de una evidencia de éstas características. Más allá del sentido común astronómico, el ejemplo considerado muestra el cruce entre las nociones de evidencia y de observabilidad.

De esta manera, se dispone de dos bases de datos producidas por instrumentos diferentes: por un lado, el telescopio espacial Hubble en el rango óptico; por el otro el observatorio espacial Chandra en rayos X. Ambos instrumentos permiten la observación de este objeto, proveyendo datos instrumentales de distinta naturaleza. A partir de la imagen óptica se establece un análisis que permite determinar las galaxias que pertenecen a cada cúmulo, como así también las deformaciones de las galaxias de fondo producidas por los efectos de lentes gravitacionales (Mehlert et al., 2001).



[FIG. V.8] IMAGEN ÓPTICA (HUBBLE). INTERPRETACIONES DE LA DISTRIBUCIÓN Y DE LA ORIENTACIÓN (WEAK-LENSING) DE GALAXIAS DE FONDO E IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA DE GALAXIAS.

Por otra parte, la reducción de los datos en X permite reconocer sobre la imagen la situación del gas intracúmulo.



[FIG. V.9] IMAGEN RAYOS X (CHANDRA). INTERPRETACIÓN DE LA SITUACIÓN DEL GAS INTRACÚMULO (TEMPERATURA, DENSIDAD, RASGOS COMO FRENTES DE CHOQUE, ETC).

Ambos conjuntos de datos se hallan interrelacionados de manera tal que conforman el soporte evidencial, a partir del cual se van a justificar las afirmaciones acerca de las cantidades posibles de materia oscura (Markevitch et al., 2002). Cabe mencionar que los diferentes enunciados posibles o contrafácticos, inherentes al modelo del fenómeno en cuestión, se hallan conformados tanto de términos observacionales como de términos teóricos. Un arquetipo de tales enunciados es el desplazamiento de la emisión en X con respecto a las lentes gravitacionales y a la fracción de materia oscura presente, por ejemplo.

A partir de la relación empírica dada entre fenómenos y datos, de acuerdo con la propuesta de Woodward, se genera un patrón de evidencia confiable que posee una fuerte dependencia entre las aserciones posibles del modelo del fenómeno y las variadas formas de elaboración e interpretación de los datos. No obstante, al poner énfasis sólo en esta sensibilidad del patrón evidencial se descuidan aspectos de las prácticas observacionales que exceden la misma dependencia. En el caso analizado, esto significa que el peso de la prueba recae en la selección de datos correspondientes a sistemas de galaxias en interacción del tipo “bullet cluster”. En cambio, si se

seleccionan datos provenientes de cúmulos aislados, el patrón de evidencias generado podría resultar nulo o contra-evidencial. De esta manera, a la hora de establecer grados de evidencia posibles para la justificación epistémica de creencias de un sistema determinado, la sensibilidad del soporte evidencial también va a depender fuertemente de los criterios de observabilidad subyacentes en la selección de los datos. Sin adoptar enteramente el punto de vista de Suppes (1962), el cual resultaría anacrónico en este caso, podrían considerarse algunas de las características presentadas en los modelos de datos, tales como el rol integrador de bases y conjuntos modulares de datos interconectados, como así también el papel en la transferencia del contenido empírico (Bozzoli y Paz, 2011).

A continuación, se considerará la propuesta de Woodward (2000, 2009) y algunas de sus críticas, en consonancia con ciertas prácticas asociadas al ejemplo anterior. Como se vió, este enfoque sostiene que los datos observacionales sirven como evidencia de los fenómenos y son relaciones empíricas las que articulan tal soporte. Estas relaciones conforman un tipo de patrón de dependencia contrafáctica entre los diferentes mecanismos posibles de producción de datos y las diversas herramientas y auxiliares para su tratamiento. Estas últimas involucran el uso de técnicas para el análisis y la reducción, tales como procedimientos estadísticos variados para el suavizado, transformación y descarte de datos. Tanto la fase de elaboración como la de interpretación de los datos poseen un rol importante en la configuración de este patrón evidencial, el cual es sensible a diversas clases de datos (observacionales y simulados, por ejemplo).

A diferencia de esta perspectiva, McAllister (2007, 2009, 2010) adopta el enfoque estructural de Suppes (1962) sobre modelos de datos. En este sentido, un modelo es entendido como una representación matemática de una base de datos empírica. Dichos modelos no reproducen, con mayor detalle, los diversos elementos que componen los datos. Sin embargo, los mismos pueden capturar aquellos aspectos presentes más relevantes y significativos. De esta manera, los modelos de datos sirven como guías heurísticas que permiten la identificación de patrones en una base de datos dada. Además, este autor sostiene que esta última provee evidencia no sólo para un fenómeno en particular, sino para una variedad de ellos. Así, una base de datos

determinada exhibe una multiplicidad de patrones, los cuales se hallan vinculados a diferentes niveles de ruido estipulados.

A partir de la discusión, entre Woodward y McAllister, se intentará mostrar que ninguna de las dos posiciones críticas provee criterios epistémicos tanto para la selección entre bases de datos más o menos confiables, como así tampoco para una caracterización integral de bases y conjuntos modulares de datos interconectados. Dada la problemática actual inherente a la producción masiva de gigantescos volúmenes de datos, “data-tsunami”, se desarrollará el caso de los observatorios virtuales entendidos no sólo como reservorios de bases de datos astronómicos, sino como herramientas informáticas para el tratamiento, “data-mining”, de los mismos. Se mostrará que la práctica involucrada, en esta segunda parte del ejemplo, puede esclarecer la problemática en torno de la estandarización de los datos y de la generación de nuevos patrones observacionales (Way, et al. 2012; Edwards & Gaber, 2014).

V.8 Datos y soporte evidencial

Woodward (2000) sostiene una posición diferente al modelo filosófico estándar, el cual intenta restringir la noción de evidencia a relaciones de tipo lógico entre proposiciones. Este autor sostiene que los datos observacionales sirven como evidencia para los fenómenos del mundo físico. Como se mostró anteriormente, esta perspectiva sostiene que las relaciones evidenciales son empíricas y generan un patrón que depende de situaciones contrafácticas, dadas tanto en el ámbito de los datos producidos como en el entorno de las conclusiones arribadas por los investigadores de dichos fenómenos. Bogen y Woodward (1988, 1992) elaboran una distinción entre fenómenos y datos, la cual afirma que los primeros son efectos o procesos estables y repetibles en la naturaleza, mientras que los segundos son registros producidos por la medición y el experimento. Los fenómenos son objetos potenciales de la predicción y de la explicación de las teorías y pueden servir como evidencia de las mismas. A diferencia, los datos sirven como evidencia de la existencia de ciertos fenómenos o de algunas de sus propiedades o atributos físicos.

De esta manera, los datos son producto de procesos complejos que involucran diversos factores causales y también aspectos idiosincráticos. Esto conduce a la ardua tarea a la que deben enfrentarse los investigadores al momento de desentramar los diferentes estratos que conforman las bases de datos observacionales. En este sentido, las características presentadas se hallan vinculadas tanto a la teoría del fenómeno considerado, como así también a la información de base sobre los instrumentos y piezas de equipos empleados, los procedimientos de medición y aquellos aspectos propios del entorno observacional/experimental tales como condiciones iniciales y de fondo, por ejemplo. Woodward distingue entre la producción de los datos y la interpretación de los mismos. Con respecto a la fase de producción, este autor se refiere a los diferentes procesos de interacción causal que son llevados desde los fenómenos a los datos, es decir, desde la fuente, a través de la transmisión, hasta la recepción por parte del sistema de observación. Por otro lado, la interpretación de los datos involucra el uso de argumentos, de técnicas analíticas y de patrones observacionales a la hora de obtener inferencias de propiedades físicas de los fenómenos considerados. Así, la interpretación de datos se basa en diferentes técnicas de análisis y de reducción, tales como procedimientos estadísticos varios, que permiten generar enunciados observacionales que van a justificar aquellas proposiciones relativas a los objetos bajo investigación.

El argumento central de Woodward sostiene que en los casos donde los datos, o bases de éstos, sirvan de evidencia para ciertos modelos de fenómenos, las relaciones empíricas allí presentes se definen a partir de un patrón de dependencia contrafáctica o de sensibilidad entre datos producidos y datos interpretados. Por un lado, los distintos mecanismos de producción de datos instrumentales son capaces de proveer una amplia variedad de éstos. Por el otro, las distintas interpretaciones de tales datos “crudos” permiten sacar diferentes conclusiones, de tal manera que las inferencias surjan a partir de este soporte evidencial. Debido a que los diversos procesos de detección y de medición pueden generar diferentes clases de datos, los científicos utilizan las bases más confiables conforme a los enunciados particulares de los objetos que deseen probar o justificar.

Woodward (2009) sostiene que la influencia causal de aquellos factores adicionales o idiosincráticos sobre los datos es caracterizada en las prácticas científicas como fuentes de “error” o “ruido”. Esto conlleva a la idea de que las bases de datos pueden exhibir cierta variabilidad o dispersión, incluso cuando se repiten observaciones de un determinado fenómeno con el mismo procedimiento e instrumento de medición. De esta manera, surge un problema epistémico, por parte de los investigadores, el cual es debido a la falta de comprensión y al desconocimiento detallado de cuáles son los procesos de producción del error y de cómo manipular los datos ruidosos. Este autor concluye que no hay manera de proveer una explicación sistemática de tales procesos de producción e interpretación de datos. No hay forma segura de identificar y de evaluar todos los factores causales adicionales presentes en un proceso de observación sofisticado. En este sentido, la solución de Woodward, al problema de obtener la información correcta de un objeto dado, consiste en estipular supuestos teóricos y empíricos adicionales. Esto último permite asegurar el esquema de razonamiento de datos a fenómenos y la confiabilidad de las inferencias. Sin embargo, tanto los procedimientos como las técnicas para el análisis, la reducción, el ajuste y el procesamiento de los datos pueden estar sesgados o cargados de teoría en la fase de interpretación.

V.9 Patrones en bases de datos

McAllister sostiene que los modelos de datos son deliberadamente imprecisos debido a que su función no es la de reproducir detalladamente todos los elementos que conforman los datos, sino identificar aquellos más significativos y relevantes. Así, dichos modelos son considerados herramientas importantes en las prácticas científicas. Además, las bases de datos pueden admitir diferentes modelos de sí mismas, lo cual implica un serio problema al momento de elegir entre modelos de datos posibles. No obstante, existen diversas técnicas cuantitativas para determinar cuál modelo de datos es el mejor, es decir, el más aproximado o el que mejor soporta los datos. Este autor sostiene que dichas técnicas permiten ponderar entre diferentes criterios de simplicidad

o parsimonia versus bondad o ajuste; la finalidad de las mismas consiste en proveer una manera objetiva de interpretar los datos empíricos.

Según McAllister (2007), el factor común de todas estas técnicas es que definen un abanico de modelos posibles que compiten entre sí bajo la condición de aproximarse o adecuarse mejor a los datos. Así, todos los modelos restantes de una misma base de datos son etiquetados como inadecuados, imprecisos, poco confiables y pueden descartarse. Esto se debe a que las técnicas estándar se hallan basadas en el supuesto de que cualquier base empírica puede proveer evidencia sólo para un objeto particular, o bien, para alguna de sus propiedades o atributos físicos. A diferencia de la propuesta de Woodward, McAllister sostiene que una base de datos proporciona evidencia para una diversidad de fenómenos. De acuerdo a este último autor: "...el supuesto de que una base de datos empírica provee evidencia para un solo fenómeno es erróneo. Es frecuente que tales bases suministren evidencia para una variedad de fenómenos en la forma de múltiples patrones, los cuales son exhibidos en los datos con diferentes niveles de ruido asociados."

Desde esta perspectiva, ninguna de las técnicas establecidas puede ser adecuada ya que éstas no admiten posibilidad alguna de que una variedad de modelos de datos co-exista, y menos aún, vinculados a diferentes niveles de ruido estipulados. De acuerdo a McAllister, cada patrón exhibido se refiere a un efecto o proceso físico bien confirmado, el cual poseerá cierta relevancia en algún ámbito disciplinar específico de la ciencia, o bien, de la tecnología. Así, dada una base empírica en particular, cada modelo de datos enunciado se corresponde a cada patrón expuesto en dicha base. Según él, el criterio de selección entre modelos posibles dependerá del alcance o grado de aproximación de cada uno; y la justificación de la elección se hallará en virtud tanto de los objetivos y del enfoque de la investigación, como del conocimiento de fondo disponible en cada entorno científico o tecnológico.

McAllister (2009) afirma que la ciencia empírica tiene por objetivo determinar "estructuras" en la naturaleza. A partir de la adquisición y del registro de los datos obtenidos por los instrumentos de observación y de medición, las técnicas disponibles para el análisis y la reducción proveen el único acceso epistémico al mundo físico. En este sentido, este autor sostiene que dicha ciencia debe descansar en lo que él define

como un “principio de correspondencia evidencial”. Este último relaciona fenómenos físicos o estructuras con características presentes en los datos. Además, tal principio permite desplazar las afirmaciones basadas en ciertas características percibidas, en una base empírica dada, al estatus de enunciados observacionales correspondientes a objetos o algunas de sus propiedades.

Debido a que la mayoría de las bases de datos actuales son representadas como series de números, incluyendo las imágenes producidas digitalmente, los patrones exhibidos están presentes en dichas cifras o ristas. Según McAllister, estas últimas pueden compararse con otras cadenas de números, obtenidas de la misma forma, y aun así presentar discrepancias. De esta manera, el ruido denota la diferencia numérica entre el conjunto de datos instrumentales y el conjunto de datos interpretados a partir del modelo seleccionado. Dicho modelo permite identificar los patrones expuestos en la base empírica y discriminar información significativa o señal de ruido.

McAllister se pregunta cuáles de todos los patrones revelados se corresponden efectivamente a fenómenos físicos, es decir, cuáles conformarían el soporte de evidencias. Él introduce un criterio para distinguir patrones relevantes de no relevantes en función de tres parámetros morfológicos. Además, este autor sostiene que, sin una guía metodológica, este criterio no es suficiente. Ello significa que, para definir los umbrales entre los diferentes niveles de ruido, no alcanza con estipular convencionalmente los valores de cada parámetro sin una pragmática vinculada al tratamiento de los datos. De acuerdo a este enfoque, los investigadores encuentran patrones en bases de datos y proceden a descomponerlos en diferentes términos, con errores asociados, correspondientes a capas de ruido estipuladas metodológicamente. Una de las críticas de Woodward se basa en el hecho de que encontrar patrones para describir bases de datos particulares, en función de un modelo, no es en sí una cuestión de interés científico. En lo que sigue, se tratará de dilucidar esta cuestión.

V.10 Ejemplo astronómico (segunda parte)

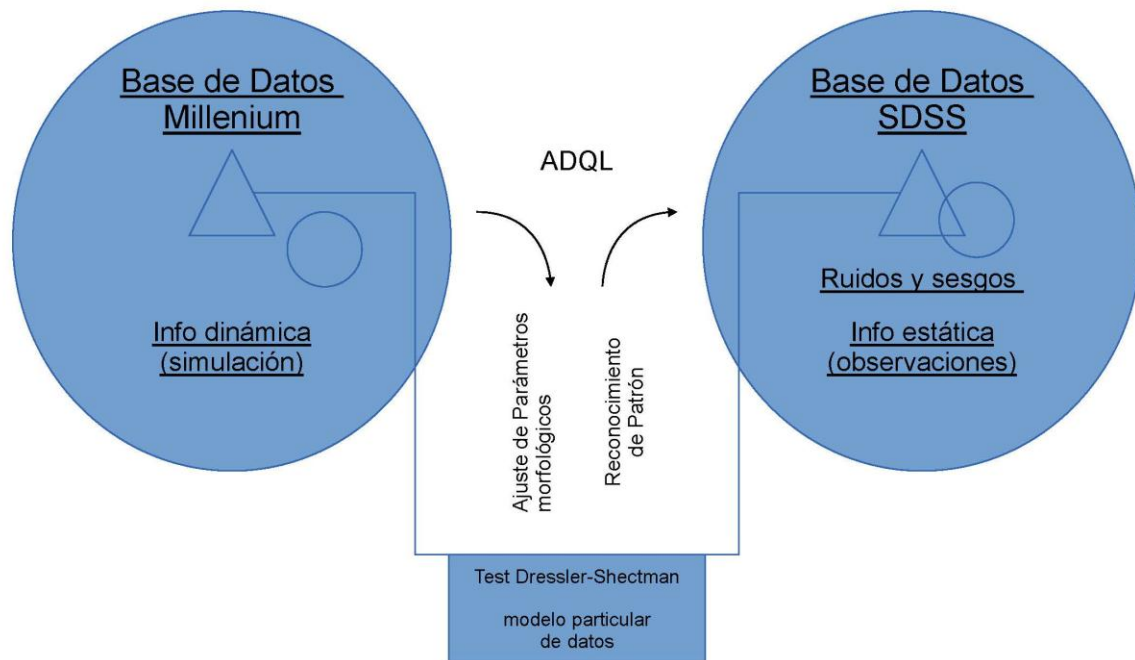
Conforme a lo presentado en la primera parte del ejemplo astronómico, el desarrollo de los observatorios virtuales (VO) responde a la exigencia de las prácticas

observacionales actuales en torno de la manipulación de inmensos volúmenes de datos producidos por una variedad ilimitada de instrumentos astronómicos (terrestres y orbitales). Esta iniciativa, de carácter internacional, surgió a partir de la necesidad de garantizar tanto un acceso fluido a las grandes bases de datos, provenientes de diferentes observatorios concretos, como la eficiencia en el análisis de la información astronómica. De esta manera, los observatorios virtuales proveen a la comunidad astronómica bases de datos estandarizadas y herramientas informáticas para la exploración, minería y visualización de datos. Cabe destacar que estos observatorios se hallan nucleados en un consorcio que estipula los criterios para normalizar las diferentes bases, proporcionadas por cada país perteneciente a la Alianza Internacional de Observatorios Virtuales (IVOA). Otro aspecto importante de estos observatorios es que reúnen no sólo bases empíricas, correspondientes a fenómenos de distinta naturaleza física, sino que además incluyen conjuntos de datos simulados. El caso a considerar emplea la interoperabilidad entre un conjunto de datos simulados, proporcionado por el observatorio virtual alemán (GAVO), y una base de datos observacional, provista por el observatorio virtual estadounidense (VAO). Este estudio astronómico tiene como objeto la construcción de un catálogo de cúmulos de galaxias en interacción tipo *Bullet Cluster* (Bozzoli & Paz, 2013). Para ello, se aplica un modelo de datos particular basado en una prueba estadística denominada test de Dressler-Shectman, tanto en la base simulada como en la base de datos empírica.

Esto es posible gracias a la estandarización de dichas bases a la luz del modelo de datos general que provee el corpus de observatorios virtuales. Esta normalización se debe a un lenguaje informático común en ambas bases, en particular el ADQL (*Astronomical Data Query Language*), que permite la minería de datos a través de algoritmos aplicables a tales conjuntos de datos. Por otra parte, el modelo de datos específico requiere un ajuste de parámetros a fin de establecer los umbrales necesarios para discriminar señal de ruido. Dicho ajuste es realizado dentro de la base de datos simulados debido a que ésta provee información dinámica, no disponible en el conjunto de datos observacionales. Una vez fijados estos parámetros morfológicos, el modelo de datos particular permite identificar el mismo patrón (cúmulos interactuantes) en la base observacional. Sin embargo, al reconocer este patrón en una base de naturaleza

diferente surgen nuevos errores que lo contaminan. Dicha contaminación se conforma de una multiplicidad de patrones exhibidos que no se corresponden a los fenómenos astrofísicos de interés para la investigación.

Caso considerado:
Catálogo observacional de cúmulos tipo Bullet Cluster



[FIG. V.10] INTEROPERABILIDAD SOBRE DOS BASES DE DATOS (SIMULADOS Y OBSERVACIONALES) A PARTIR DEL ENTORNO OFRECIDO POR LOS VO.

En el caso considerado, el ruido inherente a las observaciones, contamina el patrón de cúmulos interactuantes con cúmulos de galaxias sin interacción. En este sentido, el criterio propuesto por el enfoque de McAllister para el control de umbrales en la distinción entre patrones relevantes y no relevantes resulta inadecuado. En síntesis, se ha desarrollado la propuesta de Woodward, la cual sostiene que los datos observacionales sirven como evidencia para los fenómenos físicos. Las relaciones entre ambos son empíricas y generan un patrón de evidencias que depende de dos aspectos principales: los diferentes mecanismos de producción de datos y las diversas maneras de interpretarlos. Por un lado, se ha mencionado que los datos son producto de

procesos complejos que involucran una serie de factores causales, incluyendo características idiosincráticas. Por el otro, las interpretaciones de los mismos emplean tanto técnicas y procedimientos para el tratamiento, como supuestos auxiliares que capturan de manera confiable aquellos elementos adicionales presentes en un proceso observacional sofisticado. Se ha destacado que este aspecto representa un problema en el esquema inferencial, debido a que la fase de interpretación puede estar cargada de teoría. En contraste con el ejemplo desarrollado, este enfoque no provee un criterio robusto de selección entre bases de datos disponibles.

Por otra parte, se ha analizado la crítica de McAllister, la cual al considerar modelos de datos desplazó el problema epistémico en torno de la selección de bases hacia la elección de modelos. Se ha notado que estos últimos permiten descomponer los datos de una base en diferentes términos con ciertos errores asociados. Además, tales modelos permiten reconocer una multiplicidad de patrones, exhibidos en una base empírica determinada, que proveen el soporte evidencial correspondiente a una pluralidad de fenómenos. También se ha mencionado que dichos patrones están sujetos a diferentes niveles de ruido estipulados metodológicamente. En relación al ejemplo considerado, se ha mostrado que este enfoque es inapropiado en el contexto de las prácticas observacionales más recientes. Así, la inter-operabilidad y la integración de grandes bases astronómicas, conjuntamente con la problemática vinculada a la avalancha de datos y al procesamiento de los mismos, sigue siendo una cuestión que presenta matices de relevancia epistemológica.

A continuación, se abordará otro de los rostros epistemológicos más importantes vinculados al concepto de evidencia propuesto por Woodward (2000, 2009, 2010) y de las críticas planteadas por McAllister (1997, 2007, 2009) y Glymour (2000). En lo que sigue se explorará el alcance de esta discusión en torno a la noción de robustez en la observación astronómica actual. Para ello, se considerará el análisis de Hudson (2014) quien confronta dicha noción al cuestionar las variadas caracterizaciones que ha tenido la misma. Pese a que estas últimas contemplan tanto aspectos probabilísticos como pragmáticos, aquí se considerarán sólo aquéllos epistémicamente relevantes.

En esta dirección, una cara de la robustez se define a partir del grado de independencia de los procesos físicos involucrados en las diferentes producciones de

los datos observacionales. Esto obedece también al nivel de independencia de los supuestos teóricos que subyacen en tales procesos. Dichos supuestos condicionan el diseño de los sistemas observacionales, o sea, de los instrumentos y de sus accesorios, configurando así las prácticas empleadas en cada proceso de elaboración de datos crudos. Por otra parte, la contracara de la misma noción se corresponde con la autonomía de la interpretación de estos datos generados mediante distintos procedimientos observacionales. Cabe destacar que las interpretaciones de los procesos en sí, es decir, la pre-interpretación de tales datos, originan metadatos que son luego necesarios al usar las técnicas de análisis y de reducción para el procesamiento final de clases diversas de datos (observacionales o simulados, como se mostró en la segunda parte del ejemplo).

Atendiendo a la problemática astronómica reciente vinculada a la producción masiva de gigantescos volúmenes de datos y a la selección e integración de bases de datos disponibles, se desarrollará otro aspecto del estudio de caso considerado en este apartado. Dicho aspecto pretenderá mostrar, de forma contraria a algunos de los argumentos de anti-robustez presentados por Hudson, que la solidez de la evidencia observacional depende tanto de la autonomía de los procesos causales que generan los datos crudos, como de la relativa independencia de las interpretaciones de éstos a la luz del proceso en sí y del modelo del fenómeno considerado.

V.11 Revisando la distinción entre datos y fenómenos

Glymour (2000) reconsidera la distinción, planteada inicialmente por Bogen y Woodward (1988), la cual sostiene, por un lado, que los datos son los resultados de las observaciones y de los experimentos llevados a cabo por los científicos. Por el otro, la misma muestra que los fenómenos se corresponden a características objetivas y estables del mundo físico, las cuales son inferidas a partir de datos y bases confiables de éstos. A diferencia de los fenómenos, los datos no son explicados por las teorías; sin embargo, éstos últimos proveen la base empírica necesaria para realizar las inferencias acerca de las propiedades observables de los objetos bajo estudio. Ello permite que los

investigadores arriben a conclusiones, eventualmente novedosas, que nutren el modelo del fenómeno bajo consideración.

Si los datos observacionales/experimentales proporcionan la evidencia para las teorías, entonces los mismos deberían proveer algún criterio de aceptabilidad para ellas. Dado que las diferentes teorías, pertinentes a un objeto físico en particular, no explican el corpus de datos disponibles, Bogen y Woodward niegan la posibilidad de que uno o más datos puedan facilitar la evidencia para tales teorías. De esta manera, ellos sostienen que las observaciones, al no suministrar dicha evidencia, no pueden proveer pautas de elección. Esto significa que los datos, o conjuntos de éstos, no permiten la aceptación o el rechazo de las teorías dado que no guardan ninguna conexión intrínseca con las mismas. Sin embargo, hay casos donde la relación evidencial es otra, es decir, existen ciertas relaciones inferenciales que vinculan, directamente, los datos con las teorías más afines²⁹. Así, una base de datos puede ser la evidencia, a favor o en contra, de las teorías involucradas. En pocas palabras, el estatus evidencial de los datos es muy diverso. Esto significa que también hay datos vinculados tanto al diseño como al sistema de observación empleado, los cuales pueden ser desechados al ser interpretados como ruido de los instrumentos o de los diversos medios perturbadores naturales, por ejemplo.

En esta dirección, Bogen y Woodward se cuestionan sobre qué características deben presentar los datos para que califiquen y sean candidatos (más o menos confiables) a la hora de conformar el estatus de evidencias. Al considerar los diferentes tipos de relaciones evidenciales, entre datos y teorías, ellos también plantean la problemática inherente a la carga teórica de la observación. Esto quiere decir que las teorías empleadas, tanto en la adquisición como en el procesamiento de los datos, contaminan y sesgan el soporte evidencial. Dado que la distinción entre la teoría y la observación es borrosa desde esta perspectiva, la solución propuesta por estos autores consiste en establecer una distinción entre fenómenos y datos. Ambas entidades difieren tanto en su nivel epistemológico como ontológico. Respectivamente, los fenómenos, a diferencia de los datos, pueden ser explicados por las teorías. Así, los

²⁹ Según el esquema propuesto por Shapere (1982), tales casos se darían cuando concuerdan las teorías de la fuente física (que emite una señal), de la transmisión (de esa señal como transporte de la información) y de la recepción (a través de un sistema instrumental apropiado).

fenómenos son evidencia directa de las mismas; mientras que los datos lo son indirectamente. Incluso, el conocimiento de los fenómenos es justificado inferencialmente por los datos; entretanto estos últimos no lo son. Por otra parte, como se mencionó anteriormente, los fenómenos se refieren a propiedades regulares y estables en la naturaleza. Los datos, al conformar los reportes observacionales, están sujetos a innumerables procesos causales y condiciones físicas, iniciales y de contorno, que configuran el diseño de una observación.

Siguiendo el análisis propuesto por Glymour, el uso de esta distinción sugiere que los datos obtenidos sean clasificados según el grado de confiabilidad que se tenga en función de su adquisición. En efecto, la confiabilidad es un atributo que los datos deben poseer para calificar como candidatos a un estatus de evidencias aceptables. A partir de los patrones exhibidos en las bases de datos confiables se realizan las inferencias, las cuales pueden aludir a la existencia de fenómenos, ya sean objetos físicos nuevos o algunas de sus propiedades. Estos resultados pueden, o no, ser explicados por las teorías disponibles y, en este sentido, dichos fenómenos son la evidencia, a favor o en contra, de las mismas. Así, se sigue que los datos son evidencia de los fenómenos y éstos lo son de las teorías.

Por otra parte, Bogen y Woodward afirman que los fenómenos no son sólo observaciones cargadas de teorías. Ello se debe a que dichas observaciones están supeditadas a una variedad de sucesos causales extrínsecos, experiencias perceptuales y aspectos subjetivos e idiosincráticos (Woodward, 2000, 2009, 2010). De esta manera, los fenómenos son justificados por las inferencias realizadas a partir de las observaciones, es decir, de datos y bases de datos confiables. No obstante, Glymour sostiene que tales inferencias no sólo pueden ser más o menos fidedignas o persuasivas, sino que también son independientes de la confiabilidad de los datos sobre los cuales ellas se basan. Cabe destacar que esta diferencia es epistémicamente relevante y no es otra cosa más que remarcar la relativa autonomía de la fase de adquisición y producción de datos crudos o instrumentales, con respecto a la fase de reducción, procesamiento e interpretación de los mismos.

Por su parte, McAllister (1997) critica la distinción entre datos y fenómenos mencionada anteriormente, aludiendo que los fenómenos se corresponden a

características que conciernen a los investigadores, más que a propiedades que pertenecen al mundo físico. Su idea es que cada base de datos no presenta un patrón determinado al estilo de Bogen y Woodward, sino que exhibe una multiplicidad de patrones que dependen de niveles de ruido estipulados. Asimismo, para cada nivel, una base de datos puede mostrar infinitos patrones. Por esta razón, McAllister asevera que no hay elementos objetivos, en la evidencia empírica, que permitan establecer, de la diversidad de patrones exhibidos, cuáles de todos ellos deben ser considerados fenómenos. De esta manera, él sostiene que estos últimos no pueden ser una cantidad infinita, lo cual significa que no todos los patrones presentes en una base de datos cuentan como objetos físicos y se corresponden a procesos estables y repetibles de la naturaleza. Así, según este autor, los científicos deben privilegiar ciertos patrones para referirse a aquellos fenómenos que atañen tanto a los fines de la investigación principal, como a los objetivos de las exploraciones e indagaciones complementarias. Un ejemplo de esto último se da cuando, al observar un objeto específico, se genera una base de datos que permite estudiarlo, pero además posibilita la calibración, puesta a punto y el chequeo de un aparato o pieza de equipo del sistema instrumental.

Según McAllister, el reconocimiento de patrones no depende del soporte empírico. Esto significa que no hay características objetivas del mundo físico presentes en las bases de datos que restrinjan tal identificación. Él sostiene que esta última se apoya en aspectos estrictamente subjetivos que incluyen tanto el compromiso teórico de los investigadores, como el nivel de ruido que ellos aceptan en determinadas prácticas. En este sentido, los fenómenos, sugeridos por dichos patrones, son relativos a los agentes epistémicos y, según este autor, las inferencias observacionales logradas están necesariamente cargadas de teoría.

Glymour es escéptico ante la distinción sugerida por Bogen y Woodward, y por ende ante la postura crítica de McAllister. El primer autor sostiene que mantener una diferencia, entre datos y fenómenos, resulta innecesario al considerarse el ámbito de las inferencias estadísticas. A partir de mediciones particulares, sobre una base de datos observacionales, se selecciona una muestra específica que presenta una estructura estadística definida. Así, las inferencias se realizan en base a los distintos valores de las variables que están presentes en esa muestra. Ellas representan las

propiedades físicas de esta última y permiten el salto inferencial estadístico hacia a la población de datos. Esto posibilita, a su vez, establecer las inferencias sobre las relaciones causales que se exhiben en dicha población. En otras palabras, al construirse y al analizarse la muestra, se extrapolan sus atributos físicos a la población de datos crudos dando lugar a su interpretación y a su reducción mediante diversos procedimientos estadísticos. En consecuencia, el procesamiento de la base de datos permite que los científicos arriben a conclusiones sobre los procesos causales asociados a los fenómenos involucrados. Según Glymour, si la distinción entre datos y fenómenos se corresponde a muestra y población, tal diferencia se diluye dado que estas últimas se encuentran en un mismo nivel de análisis. No obstante, el planteo sugerido por este autor no contempla la otra etapa principal previa al procesamiento, a saber: la fase de producción y de adquisición de datos. A los propósitos de este apartado, se considera que esta última resulta importante a la hora de abordar el traspaso de grados de evidencia a la certeza.

V.12 Evidencia y robustez

Hudson (2014) menciona que una evidencia es robusta cuando tal soporte es originado por múltiples fuentes, el cual permite confirmar a través de inferencias alguna teoría, hipótesis o conjetura. La mayoría de los filósofos de la ciencia han considerado esta noción como una estrategia efectiva al momento de asegurar la confiabilidad y la precisión de las bases de datos observacionales. Este autor refuerza esta idea al afirmar que dos procesos físicos distintos pueden ser empleados en la observación de algún fenómeno determinado. Ambos procesos son independientes entre sí y pueden corresponderse a partes distintas de la física, es decir, a diferentes teorías que los fundamentan.

Kosso (1989) sostiene que, en los sistemas perceptuales humanos, los diferentes sentidos, al ser relativamente autónomos, pueden chequearse entre sí. De este modo, las interpretaciones de los datos sensitivos son más confiables, dado que es improbable incurrir en los errores propios de cada sistema. En esta dirección, una variedad de procesos físicos puede generar diversos datos instrumentales, los cuales

permiten arribar inferencialmente a los mismos resultados observacionales. Estos datos, antes de ser analizados a la luz del modelo del fenómeno bajo investigación, son pre-interpretados conforme al modelo del instrumento y se corresponden a objetos (*artifacts*) y a propiedades inherentes a dichos procesos. Sin embargo, Hudson afirma que el valor de este argumento depende de cuán independientes deben ser los procesos físicos que producen los datos. Esta autonomía es de crucial importancia al momento de entender la dependencia de los mecanismos de producción de datos con respecto al trasfondo teórico de cada investigación.

Según Hudson, es posible que los agentes epistémicos (los observadores) al basarse en diferentes supuestos teóricos, desarrollen formas distintas de elaboración de datos. Así, los procedimientos observacionales son diversos y hacen referencia a una variedad de procesos físicos que permiten generar datos crudos y no, ciertamente, a las interpretaciones de tales procesos. A diferencia de la perspectiva de Kosso, Hudson distingue entre la independencia de estas últimas y la de los procesos en sí mismos, como un aspecto relevante de la objetividad científica. Para Kosso, la principal amenaza hacia la objetividad radica en cuán dependiente es la observación con respecto a la teoría. Por esta razón, este último valora el hecho de que, a partir de marcos teóricos dispares, puedan generarse resultados observacionales iguales. Sin embargo, al contrario de la autonomía epistémica sugerida por Kosso, Hudson pone énfasis en la independencia física de los procedimientos observacionales, la cual puede o no estar asociada al rostro epistémico. No obstante, como se comentará más adelante, Hudson critica ambas caracterizaciones de la robustez. Incluso, al analizar otros enfoques, probabilísticos y pragmáticos, este autor identifica rasgos comunes que lo llevan a definir un argumento central de esta noción, el cual rebate después.

Lo que se intenta mostrar aquí, es una articulación entre las dos caras de la robustez mencionadas arriba. De esta manera, si los mismos resultados observacionales, es decir, inferencias idénticas de datos a fenómenos, son generados a partir de procesos físicos independientes, entonces, el grado de evidencia del fenómeno bajo investigación es significativo, pero además favorece a la confiabilidad de los mecanismos que generan los datos. En otras palabras, si la producción de las bases de datos es robusta se garantiza, a su vez, la robustez de los resultados observacionales.

En consonancia con lo que sostiene Woodward, el patrón de evidencias se halla en función tanto de la elaboración, como de la interpretación de los datos. Así, la robustez del soporte evidencial es respaldada por el rostro no epistémico, es decir, por la autonomía de los procesos físicos de cada sistema instrumental. Por esta razón, se hace hincapié en diferenciar entre las fases de adquisición y de confección de datos, y aquella vinculada al análisis y a la reducción de los mismos. Se considera ineludible que ambas etapas estén presentes en los procedimientos observacionales actuales, aún en aquellos más sofisticados. Pese a que Hudson no establece ninguna salvedad afín en sus planteos, se mantiene escéptico al concluir que cualquier caracterización de la robustez es errónea. A continuación, se explorará su perspectiva.

A partir de una serie de estudios de casos, Hudson intenta mostrar que el argumento general o común que él identifica, en los variados tratamientos sobre la noción de robustez, es cuestionable. Esto es debido a la incapacidad de explicar adecuadamente lo que significa que dos o más procedimientos observacionales sean independientes, unos de otros, de manera informativa. Este autor considera que hay beneficios identificables en ciertas líneas alternativas de investigación empírica, sobre todo en aquellas autosuficientes; sin embargo, no ofrecen ningún rédito a este núcleo argumental de la robustez. En esta dirección, él considera que aquellos planteamientos que abogan a favor de tal noción no muestran cómo este razonamiento es aplicado prácticamente, es decir, cuán diferentes son estos procedimientos y cuáles deben ser empleados en una indagación específica. Según él, es común que, en la literatura tanto científica como filosófica, la robustez se presente y sea explicada de forma abstracta. Esto conlleva a que su implementación en las prácticas sea borrosa e ineficaz; incluso en aquellos ámbitos que implican niveles diferentes de representación de datos, o sea, de resultados observacionales. Un objeto físico en particular, o alguna de sus propiedades observables, influye causalmente en los diversos mecanismos independientes de producción de datos, permitiendo arribar a las mismas conclusiones observacionales. No obstante, Hudson sostiene que esta concesión realista hace que la convergencia de tales reportes no sea informativa con respecto al argumento central de la robustez, dado que no proveen una descripción exacta del fenómeno bajo investigación.

V.13 Ejemplo astronómico (tercera parte)

Como se mostró en los tres primeros capítulos, los datos son la base del conocimiento y de los descubrimientos en la astronomía. La mayor parte de su producción se da a través de diferentes observatorios equipados con instrumentos diseñados para observar el universo en las distintas longitudes de onda del espectro electromagnético. Ello conforma la astronomía multi-onda. Por su parte, las simulaciones computacionales también producen datos que intentan reproducir situaciones observacionales dadas al generar catálogos simulados. Además, la astronomía de múltiples mensajeros elabora vastas colecciones de datos inherentes a fenómenos astrofísicos peculiares. En la actualidad, la recolección de enormes volúmenes de datos, de distinta naturaleza, es una actividad que permite, posteriormente, un profundo análisis de la evidencia disponible al momento de extraer propiedades nuevas de los objetos observados. De esta manera, como se expuso anteriormente, el procesamiento de los datos instrumentales está orientado a una amplia variedad de prácticas y técnicas astro-informáticas, tales como la minería, la exploración y la visualización de datos.

En esta dirección, a comienzos de este siglo, con el objetivo de aunar los grandes repositorios de datos disponibles, se crean los primeros observatorios virtuales (VO). Éstos ofrecen un escenario que permite tanto el acceso a datos, previamente unificados bajo un lenguaje informático, como el empleo de técnicas para el tratamiento de los mismos a fin de extraer información astronómica relevante. Al ser estandarizados, bajo las normas y protocolos propuestos por el IVOA (*International Virtual Observatory Alliance*), se reduce la cantidad masiva de datos crudos. Así, la pre-cocción de estos últimos permite que puedan ser distribuidos y compartidos en la comunidad astronómica global. Tales datos, al ser descriptos bajo el mismo lenguaje, son pre-interpretados; ello genera meta-datos que contienen información básica sobre cada sistema instrumental que los ha producido. Luego, en la instancia definitiva del procesamiento, al relacionarse aquellas bases de datos más confiables, es posible integrar y analizar toda la información que, eventualmente, puede llegar a converger en los mismos resultados observacionales. Los VO proveen (*on-line*) las herramientas estadísticas, algoritmos de búsqueda intensiva y sistemas expertos necesarios para la

minería en vastas colecciones de datos homogeneizados. Además, estas plataformas virtuales brindan a sus usuarios diferentes servicios y recursos, tales como la información esencial sobre los diferentes mecanismos de adquisición y de recolección de datos.

En resumen, al considerar la noción de evidencia propuesta por Bogen y Woodward, se establece una distinción que señala que los datos son evidencia de los fenómenos. Así, la evidencia disponible es determinada por un patrón que se define a partir de las diversas maneras tanto de producir, como de interpretar los datos. A raíz de tal caracterización, surgen posturas críticas como las de McAllister y Glymour. La primera, aunque mantiene la distinción entre datos y fenómenos, afirma que en las bases de datos no se presenta un solo patrón, sino que se exhibe una plétora de éstos. Además, no hay características objetivas presentes en la evidencia empírica que permitan establecer cuáles de todos los patrones mostrados deben ser considerados fenómenos físicos. De esta manera, los fenómenos, sugeridos por dichos patrones, son relativos a los agentes epistémicos y las inferencias observacionales logradas están necesariamente cargadas de teoría. La segunda, al considerar el ámbito de las inferencias estadísticas, niega tal distinción. Al construirse y al analizarse una muestra de la base de datos, se extrapolan sus propiedades físicas al resto de la población dando lugar a su interpretación y a su reducción mediante variados tratamientos estadísticos.

Por otra parte, Hudson plantea que un soporte evidencial es robusto cuando es generado por procesos físicos independientes que permiten llegar a los mismos resultados observacionales. Al distinguir entre la independencia de las interpretaciones de dichos procesos y la de los procesos en sí, él elabora su crítica a la noción de robustez. De este modo, su argumento de anti-robustez se basa en la incapacidad de poder explicar que dos o más procedimientos observacionales sean, efectivamente, autónomos. Incluso, tampoco se explica el hecho de que un fenómeno influya en tales procesos de adquisición de datos.

A partir del ejemplo considerado, se demuestra que los VO establecen una clara línea de demarcación entre la fase de adquisición de datos instrumentales y la fase de reducción de datos observacionales. Si la producción de las bases de datos es robusta se

garantiza, a su vez, la robustez de los resultados observacionales. Si bien estos entornos virtuales proveen, en los metadatos, información básica del sistema instrumental, la misma no es necesariamente requerida en la minería de datos. Esta información puede ser ignorada cabalmente. Por lo tanto, la robustez de la evidencia se basa en el desconocimiento total y en la confiabilidad absoluta (confianza ciega) de los diversos mecanismos de producción.

V.14 Modelos y representaciones visuales de datos

Esta sección gira en torno de la dependencia que poseen las prácticas observacionales actuales con respecto a los instrumentos vigentes en la astronomía contemporánea. De esta manera, la confiabilidad en la obtención de datos observacionales/simulados, y bases de éstos, y la forma de representarlos visualmente, dependerá del diseño de los aparatos, dispositivos y piezas de equipo empleadas en la etapa de adquisición. Así, diferentes modelos de datos son tomados bajo consideración al momento de definir las técnicas necesarias tanto para el modelado computacional de fenómenos astrofísicos, como para la representación visual de propiedades y características observables. En este sentido, los criterios epistémicos que subyacen tanto en la selección como en el ajuste de parámetros observacionales están estrechamente vinculados a las diversas tradiciones y culturas visuales astronómicas que condicionan cada metodología de forma particular. Por un lado, en este apartado, se partirá de la propuesta de Suppes (1962) sobre modelos de datos y se desarrollarán algunas de las críticas sugeridas por Harris (2003) y Bailer-Jones (2004, 2009), enfatizando así la dinámica entre los mecanismos de producción de datos y de su procesamiento (reducción y análisis). Luego, se abordará un ejemplo astronómico, el cual permitirá establecer un contraste entre sus distintas funciones y clases. Por otro lado, a fin de resaltar el rol crucial que poseen las representaciones visuales, tanto en la adquisición de datos como en su tratamiento, se hará una aproximación al contexto computacional en torno de la producción digital de imágenes astronómicas. Para ello, se considerará una serie de propuestas inherentes a diversos aspectos epistémicos de dichas representaciones en la cosmología actual.

V.15 Modelos de datos

El objetivo aquí consiste en mostrar que la concepción propuesta por Suppes (1962), sobre una jerarquía de teorías, modelos y de sus relaciones con los sistemas empíricos, descuida aspectos prácticos inherentes a la parametrización y su adecuación con bases de datos observacionales. Específicamente, a través de un ejemplo astronómico, se mostrará que en el nivel de la teoría del experimento y de sus correspondientes modelos, la elección y el ajuste de parámetros están subdeterminados por la observación vinculada a diferentes modelos de datos. A diferencia de la concepción suppesiana, se sostendrá que esta actividad no se define mediante el tratamiento estadístico dado sólo por las teorías y modelos superiores de la jerarquía, sino a partir de conjuntos de datos observacionales propios del nivel de la teoría del diseño experimental y de sus modelos. De esta manera, se concluirá que estos últimos involucran un dominio de elementos observacionales interrelacionados con diversos modelos de datos. Así, la “complejidad” de estos elementos excede claramente los límites de la teoría del fenómeno a contrastar. Por ello, y dada la sofisticación de esta práctica, se piensa que es inapropiado realizar una descripción formal, como así también dar una caracterización como condiciones del tipo *ceteris paribus* de tal infradeterminación.

En sus “Estudios de filosofía y metodología de la ciencia”, Suppes propone una caracterización abstracta de la noción de modelo, apelando a la teoría matemática de conjuntos. Desde esta perspectiva, cualquier modelo de una teoría estará conformado por un conjunto de entidades, relaciones y operaciones sobre ese conjunto. Según este autor, el concepto de modelo ha tenido diversos usos en las ciencias empíricas, en particular en la física. Históricamente, en esta disciplina puede notarse que esta noción es empleada más frecuentemente en aquellas áreas donde las teorías tomadas bajo consideración poseen explicaciones inadecuadas o pobres respecto de determinados fenómenos observados. Así, los diferentes usos de los modelos van a depender de considerarlos como objetos físicos o como entidades teóricas o lingüísticas.

En diferentes ramas de la física y de la astronomía existen teorías que, en principio, son expresadas en términos amplios y generales. Luego, se llevan a cabo

experimentos y observaciones cualitativas para dar cierto contraste “intuitivo” a las mismas. A fin de expresarlas en términos cuantitativos se construyen modelos, como realizaciones posibles de esas teorías, que permiten establecer parámetros de estimación y especificar aquellas hipótesis que pueden ser eventualmente comprobatorias. Así, un uso apropiado de la noción de modelo puede venir, en este contexto, de la matemática estadística.

Suppes sostiene que la formulación de una teoría se halla estrechamente vinculada con la actividad experimental y observacional y, por ende, con el desarrollo de las técnicas correspondientes. Según él, los científicos deberían expresar sus teorías de una manera conceptual, es decir, no pretender que las mismas estén formuladas con exactitud matemática. De esta manera, pueden establecerse conexiones claras entre las teorías y las observaciones (y experimentos) necesarias para su contraste. Este autor además define que la noción de modelo empleada por los lógico-matemáticos es fundamental, ya que cumple con los requisitos para establecer una enunciación apropiada de las teorías y un análisis preciso de los datos. No obstante, afirma que no deben dejarse de lado aquellas caracterizaciones informales y usos diferentes en torno al concepto de modelo dado por las ciencias empíricas.

De acuerdo con este punto de vista semántico, la forma correcta en la que deben establecerse las teorías es mediante una axiomatización dentro de un contexto conjuntista. En esta dirección, un modelo de una teoría es, según la definición tarskiana, una realización posible en la cual todos los enunciados válidos de la teoría son satisfechos. Particularmente, los modelos son n -tuplas ordenadas conformadas por un dominio de entidades, relaciones y operaciones sobre tal dominio. Por otro lado, un modelo elaborado de una teoría incluye funciones continuas, mientras que un modelo como una estructura conjuntista de datos incluye secuencias finitas.

Según Suppes, los modelos de datos no incluyen la vasta y complicada información inherente a las experiencias observacionales y experimentales, debido a que estas características no son comparables con aquéllas del dominio de los modelos de las teorías. Este autor afirma que la experiencia propia de las diferentes prácticas es reducida, mediante suposiciones drásticas, a la hora de generar un contraste entre ambos modelos. Al analizar sobre cómo pueden vincularse estos últimos, sostiene que

ninguna versión altamente esquematizada de un proceso observacional/experimental puede ser una buena caracterización de un modelo de datos. Ello se debe a que la teoría que se pretende contrastar y sus posibles realizaciones permiten tratamientos estadísticos que se hallan en un nivel diferente al tratamiento dado por la situación práctica. Por lo tanto, un modelo de datos puede estar determinado tanto por una descripción estadística formal como por una especificación práctica de la muestra, la población y el espacio de la muestra.

De acuerdo a la concepción estándar, las teorías están conformadas por cálculos lógico-matemáticos y por conjuntos de reglas de correspondencia que permiten transferirles contenido empírico, a partir del cual es posible interpretar ciertos términos primitivos del sistema abstracto. A diferencia de esta perspectiva, Suppes propone una taxonomía de diferentes teorías con el objetivo de dar una perspectiva alternativa en el tratamiento de los datos observacionales. Para ello hace hincapié en los errores de medición, distinguiendo entre aquellas teorías deterministas y probabilistas con datos corregibles y no corregibles, respectivamente. Más allá de los diferentes tipos de teorías, la distinción fundamental entre los datos hace referencia a la aplicación o no de una teoría del error, tanto en la adquisición como en la reducción de los mismos.

En aquellas teorías deterministas que no admiten una corrección de los datos observacionales su verificación es de carácter cualitativo. Ello significa que dichas teorías presentan ciertas limitaciones propias de su elaboración y no necesitan contemplar los diversos errores inherentes a la medición, registro y análisis de los datos obtenidos. Según Suppes, en este contexto se halla la mayoría de las teorías astronómicas de la antigüedad, las cuales no involucraban ningún tipo de teoría para tratar los errores de medición. Así, existía una fuerte tendencia que consideraba sólo las aproximaciones matemáticas para lograr un ajuste eficiente entre las teorías y los datos. En consecuencia, al no emplear ninguna teoría del error en el análisis de estos últimos, se dejaban de lado todas aquellas observaciones discrepantes, las cuales no se ajustaban con exactitud a la teoría considerada.

Por otra parte, existen teorías deterministas con datos corregibles. Aunque la corrección no viene dada por la estructura interna de estas teorías, las mismas permiten un análisis del error mediante el empleo de otras. Específicamente, esto se debe a la

capacidad interna que poseen las teorías de base para identificar y reconocer datos erróneos, los cuales al no ser descartados pueden ser analizados y corregidos. No obstante, el empleo sistemático de una teoría del error en la astronomía moderna no se dió sino hasta el siglo XVIII con la aplicación de la teoría de la probabilidad para el tratamiento y la corrección de datos observacionales. Posteriormente, esto permitió que las discrepancias entre las diferentes teorías deterministas y las observaciones correspondientes puedan ser ajustadas. En esta dirección, Suppes afirma que la teoría de la relatividad es un claro ejemplo de una teoría determinista con datos corregibles. La misma pone énfasis en la precisión del instrumento de medición involucrado a la hora de contrastar ciertas predicciones teóricas con aquellos resultados observacionales que caen dentro de los límites de error tomados bajo consideración.

En las teorías que incluyen nociones probabilistas, los datos también pueden ser corregibles o no corregibles. En este último caso, el análisis consistiría en comparar las frecuencias relativas observadas con las probabilidades predichas por la misma teoría. Sin embargo, la dificultad surge en la estimación de aquellos parámetros que no pueden determinarse de manera independiente, es decir, a partir de las predicciones de la teoría. De esta manera, dichas estimaciones se hallan sujetas sólo a los valores observables atribuidos por los datos. Por esta razón, estos últimos son tomados bajo consideración sin ningún tratamiento previo que intente analizar los diversos errores de medición y de registro. Suppes sostiene que estos casos se dan principalmente en ciertos ámbitos experimentales de las ciencias sociales en donde los errores de observación son despreciables. Por lo tanto, no se requiere necesariamente de una teoría del error para tratar las eventuales discrepancias entre la teoría y los datos. A diferencia de esto último, este tipo de tratamientos de datos observacionales es fundamental en las teorías no deterministas de las ciencias físicas. Según este autor, el ejemplo más notable en teorías probabilistas con datos corregibles es la mecánica cuántica. Sin entrar en mayores detalles, sólo se mencionará que la teoría estándar de errores observacionales en este caso particular requiere de estadísticas no convencionales para establecer un análisis correcto en torno a la correspondencia entre la teoría y los datos.

De acuerdo con el esquema presentado por Suppes, un modelo de datos es una realización posible, con una estructura conjuntista apropiada, en la cual todos los enunciados válidos de la teoría son satisfechos. Según este autor, esta caracterización lógica de la noción de modelo es fundamental tanto para las ciencias formales como para las ciencias empíricas. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, él no niega el hecho de que existan diferentes usos de esta palabra en las diversas prácticas científicas. No obstante, un uso apropiado de este concepto puede ser tomado a partir del tratamiento estadístico de una teoría vinculado con su contexto observacional y experimental. De esta manera, su principal interés consiste en mostrar la adecuación empírica de las teorías mediante el empleo del análisis estadístico, el cual permite establecer las relaciones pertinentes entre dichas teorías y los datos observacionales. Para lograr este objetivo, Suppes propone una jerarquía de modelos de diferente tipo “lógico”.

Un aspecto interesante que plantea este autor tiene que ver con el uso de conceptos teóricos que no poseen un análogo “directamente” observable en los datos observacionales. Otro aspecto es que los modelos posibles de una teoría contienen funciones continuas a diferencia de aquellos datos confirmatorios que presentan características discretas. Por esta razón, además de introducir realizaciones posibles de la teoría que se pretende contrastar, Suppes introduce modelos de datos definidos de la misma manera. Estas realizaciones se corresponden a una teoría de ellos, a partir de la cual se generan modelos que hacen referencia al experimento que arroja tales datos. Él sostiene que esta teoría de los datos se halla estrechamente vinculada tanto al procedimiento experimental, como a la teoría del fenómeno físico que se pretende investigar. En esta dirección, cualquier descripción de los aparatos, accesorios, piezas de equipo, etc., es decir, de los instrumentos que están siendo empleados en un proceso observacional, no se incorpora a la teoría del experimento. Los modelos posibles de esta última teoría también se hallan definidos de manera conjuntista como n -tuplas ordenadas de entidades, relaciones y operaciones sobre tales entidades. De esta manera, un modelo de datos es una realización posible acorde con la teoría del experimento en cuestión y con sus respectivos modelos.

Por un lado, Suppes afirma que los modelos de datos no incluyen la información relevante correspondiente al diseño del experimento. Por el otro, ni la distribución ni la asignación de parámetros físicos que describen tanto una situación observacional como un medio ambiente experimental son incorporadas en los modelos de datos. Así, estas caracterizaciones generales, propias del diseño, son consideradas como condiciones *ceteris paribus*, las cuales no pueden formalizarse. En consecuencia, los modelos de datos involucran sólo aquella información pertinente al experimento y necesaria para proveer adecuación empírica a la teoría y a sus modelos del fenómeno bajo investigación.

En suma, dichas condiciones generales ocupan el nivel más bajo de la jerarquía, ya que consideran aspectos “intuitivos” del diseño experimental que no involucran tratamiento estadístico alguno. En el siguiente nivel se encuentra la teoría del diseño experimental y sus realizaciones posibles. Aunque la teoría de este nivel no hace una referencia explícita y trasciende los límites de las teorías de los niveles superiores, la misma puede ser formalizada. De acuerdo con Suppes, el modelo del diseño experimental mantiene una conexión estrecha con el modelo de datos que se halla en el nivel superior. Este último incluye toda la información relevante sobre los parámetros observacionales definidos por la teoría a contrastar. El siguiente escalón se corresponde a la teoría del experimento y a sus modelos posibles, los cuales son fundamentales para la determinación del modelo de datos y para contrastar la teoría del fenómeno. Por último, se encuentra el estrato más abstracto el cual es ocupado por esta última y sus correspondientes modelos. Así, las diferentes teorías adquieren significado empírico a través de las conexiones formales dadas en cada capa de esta jerarquía.

De acuerdo a Morrison (1999), como se mostró en el segundo capítulo de esta tesis, los modelos en general son capaces de intermediar entre la teoría y el mundo físico, dando lugar a la intervención en ambos dominios. De esta manera, los modelos posibilitan algún tipo de experimentación, la cual permite examinar los objetos de estudio a través de sus propiedades. Sin embargo, ante la ausencia de modelos de ciertos fenómenos particulares y al contar sólo con datos aislados sobre ellos, los científicos reconocen patrones en tales bases de datos para diseñar modelos de estos

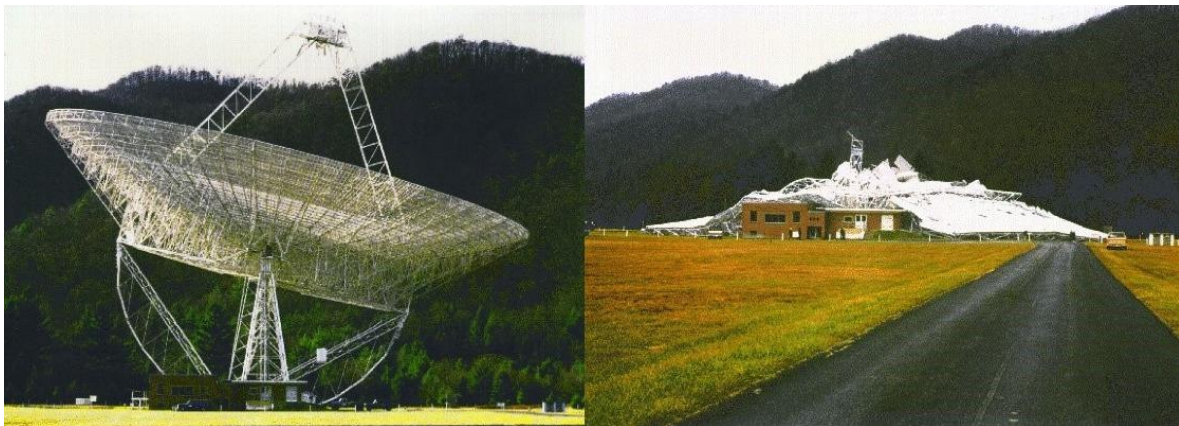
últimos, basándose en supuestos e hipótesis teóricas variadas. A medida que tal modelado de datos disponibles se va refinando, el modelo del fenómeno se va redefiniendo cada vez más hasta lograr el éxito esperado. Como se mostró en la sección sobre la noción de evidencia propuesta por Bogen y Woodward, puede afirmarse que los fenómenos son clases naturales de objetos definidos mediante sus propiedades observacionales y las relaciones entre éstas, al margen de que sean, o no, investigadas. Ellas están allí afuera, en el mundo físico, independientemente de si son, o no, descubiertas. Así, dichas cualidades observables pueden ser efectos, que ocurren más de una vez, como resultado de la misma influencia causal. Según Bailer-Jones:

“However, I would reply that such phenomena can often only be identified when certain theoretical considerations enter the debate and when certain causal factors constituting these phenomena are already identified. Yes, they may exist “untouched”, but they are often not identified and known about without being touched.” / “Sin embargo, debería responder que tales fenómenos pueden ser a menudo solamente identificados cuando ciertas condiciones teóricas ingresan al debate y cuando ciertos factores causales que constituyen estos fenómenos ya han sido identificados. Sí, ellos pueden existir “sin ser tocados”, pero frecuentemente no son identificados ni se conoce sobre ellos si no son tocados.” (Bailer-Jones, 2009, p. 170)

Esta autora sostiene que la distinción entre datos y fenómenos también muestra un extenso trayecto desde la producción de los datos a la constitución de los fenómenos en sí. En este sentido, el análisis de los datos requiere de tratamientos estadísticos muy variados. Por esta razón, ella parafrasea la aserción de Suppes sobre poner énfasis en un análisis de este tipo a la hora de establecer las relaciones entre teorías empíricas y datos observacionales en una jerarquía de modelos, como la comentada anteriormente. Este análisis formal resulta explícito al momento de definir una conexión exacta entre los datos “crudos” (elaborados mediante observaciones o experimentos) y diferentes hipótesis producidas en el nivel del modelo teórico. De esta manera, Bailer-Jones presenta a grandes rasgos tal jerarquía, sosteniendo, en primer lugar, que el modelo experimental vincula el modelo de datos con el modelo teórico, el cual permite testear experimentalmente una hipótesis planteada en el mismo. Sin embargo, esta autora afirma que en el nivel del modelo del experimento es probable

que se omitan problemas prácticos que pueden surgir en el experimento propiamente dicho, tales como ciertas idealizaciones provenientes del plano de la teoría. Así, el modelo concierne a una concepción del experimento y no de sus resultados.

Por otro lado, el modelo de datos presenta a los mismos de forma instrumental o cruda, aunque de una manera estandarizada o canónica. Ello posibilita el contraste entre las predicciones del modelo teórico y los datos observacionales o experimentales adquiridos. La cuestión es que estos últimos sólo pueden ser usados una vez que son tratados mediante técnicas estadísticas de análisis. En este sentido, el modelo de datos no es influenciado por los supuestos y presunciones teóricas que subyacen en el modelado del fenómeno considerado. Bailer-Jones (2000) examina las diferentes etapas en la interpretación de los datos obtenidos, a través de radiotelescopios, al observar radiofuentes astrofísicas tales como pulsares, cuásares y núcleos de galaxias activas. Siguiendo este propósito, para lograr una alta resolución se precisan telescopios con antenas parabólicas de gran diámetro. Sin embargo, existen limitaciones técnicas a la hora de construir el plato y el soporte de estos instrumentos de gran porte, lo que puede conducir al fracaso ingenieril en algunos casos extremos, tal como sucedió en 1988.



[FIG. V.11] ANTES Y DESPUÉS DEL PRIMER RADIOTELESCOPIO DE GREEN BANK (GBT/NRAO) CON UNA ANTENA DE 90 METROS DE DIÁMETRO.

Por esta razón, se emplea una técnica interferométrica llamada síntesis de apertura³⁰. Al mejorar la resolución angular, ella permite medir las diferencias de fases entre las ondas de radio y sus respectivas intensidades, al ser receptadas a través de varios radiotelescopios con antenas más pequeñas, en lugar de uno solo con un reflector principal enorme.



[FIG. V.12] RADIOINTERFERÓMETROS: VERY LARGE ARRAY (VLA/NRAO) Y ATACAMA LARGE MILLIMETER/SUBMILLIMETER ARRAY (ALMA/ESO).

De esta manera, dicha práctica radiointerferométrica es capturada por el modelo del experimento y depende fuertemente tanto del diseño de cada aparato involucrado, como de la configuración instrumental del sistema de radiotelescopios empleados. Así, los datos obtenidos por diversos instrumentos deben ser sintetizados para poder ser analizados. Ello significa que tales datos deben ser corregidos, por diferentes fuentes de error en la medición, para luego ser interpretados como si hubieran sido adquiridos

³⁰ En pocas palabras, un radio-interferómetro consiste en dos o más radiotelescopios conectados a través de guías de onda, cables coaxiales o fibras ópticas que recolectan las señales provenientes de cada uno de ellos. Con respecto a su diseño, existen dos parámetros físicos fundamentales. Por un lado, el patrón de la antena es definido a partir de la intensidad de la señal recibida, o sea, de la cantidad de radiación recolectada por cada disco parabólico. Este patrón está estrechamente vinculado a la resolución de los aparatos, la cual se halla también limitada por los tamaños de los platos. Por otro lado, al superponer las ondas de radio captadas por estos instrumentos, se produce un patrón de interferencias que representa si dichas ondas se añaden o se cancelan, es decir, si están en fase o si están desfasadas, respectivamente. Al reunir las señales recibidas, combinando tal patrón (constructivo–destrutivo) con aquéllos propios de cada antena, es posible sumar ciertas señales y obtener una resolución equivalente a un reflector cuyo diámetro es la distancia de separación entre los radiotelescopios conectados. Esta práctica observacional permite producir imágenes o “mapas” de alta calidad. Tales representaciones visuales están supeditadas a la situación de observación, esto es, a las interferencias generadas en función de la disposición geométrica del despliegue instrumental y al tipo de barrido, según la posición de las radiofuentes observadas.

con un solo radiotelescopio extremadamente grande. Siguiendo a Bailer-Jones, cómo los datos de diferentes equipos deben ser procesados es objeto de los modelos de datos. A menudo, los resultados de los análisis de datos recogidos son representados visualmente en forma de un mapa de contornos (bidimensional o tridimensional) de una radiofuente. Las diferentes líneas presentadas en estos mapas representan áreas de la radiación con igual intensidad y otras que indican dónde la misma varía. Estas representaciones visuales muestran la distribución de tal magnitud o propiedad física de un objeto astronómico determinado. Ellas pueden ser utilizadas para chequear o confirmar ciertas hipótesis expresadas a través del modelo teórico del fenómeno en cuestión; por ejemplo, al identificar el tipo de lóbulos, cuántos “*jets*” y “*hotspots*” posee una radiofuente doble.

Baylor-Jones sostiene que los datos, los fenómenos y las teorías están conectadas a través de modelos de diferentes tipos. Para ella, examinar un fenómeno significa poder observarlo, o bien, poder experimentar con él, es decir, observar o experimentar con alguna de sus cualidades, atributos o propiedades observables. De una u otra manera, estas actividades requieren de habilidades que no se vinculan con las consideraciones teóricas que influyen en el modelo observacional/experimental, el cual permite el diseño y la construcción del sistema instrumental (aparatos, accesorios, piezas de equipo, etc.). Así, los datos y bases de éstos, una vez producidos, requieren de tratamientos especiales ya que los mismos presentan incontables errores propios de la medición, tales como aquellos asociados a la apreciación, como a la precisión de los instrumentos empleados. De esta manera, tales datos instrumentales deben ser reducidos antes de poder ser analizados. Al atribuir propiedades físicas observables a los datos crudos, los mismos son interpretados bajo la luz de un modelo de datos, el cual posibilita el contraste con ciertas hipótesis teóricas del fenómeno bajo estudio. Tanto la reducción como el análisis conforman la fase de procesamiento, la cual viene después de la fase de adquisición.

Dado que las bases de datos pueden ser producidas por una amplia variedad de mecanismos y de procedimientos observacionales/experimentales, como se mostró en la sección de evidencia, tales bases y conjuntos modulares de datos proveen, de forma individual o colectiva, el soporte evidencial de los fenómenos. Este último puede ser

más o menos confiable, lo cual posibilita que la evidencia disponible sea considerada, o no, robusta. Según Bailer-Jones, los datos crudos no pueden servir para confirmar un modelo teórico de un fenómeno particular. De esta manera, ellos deben someterse a un procedimiento de análisis, el cual permite la “traducción” a un modelo de datos, para luego ser empleados en un testeo empírico. Si bien esto es así, cabe destacar que las bases de datos exhiben una multiplicidad de patrones, definidos a través de niveles de ruidos estipulados, correspondientes a una diversidad de fenómenos físicos involucrados. En esta dirección, al parecer, las caracterizaciones epistemológicas más recientes sobre los modelos de datos se encuentran sesgadas por el campo de la física experimental. Ello significa que la mayoría de estos enfoques considera una casuística enmarcada en los diferentes ámbitos de la física clásica y moderna. Así, se dejan de lados aspectos que resultan relevantes para un tratamiento basado en las prácticas observacionales actuales. De esta manera, las bases de datos astronómicas presentan una pluralidad de patrones que se corresponden, dependiendo del margen de error aceptado, no sólo a una variedad de fenómenos físicos inherentes a los sistemas instrumentales empleados, sino a una diversidad de fenómenos astronómicos. En consecuencia, una base de datos particular es de interés tanto para los ingenieros que operan dichos sistemas, como para toda la comunidad astronómica, es decir, para aquéllos que observan los distintos objetos, a través de sus propiedades, que se hallan en el universo observable. Quizás, a diferencia de la física, esto se debe a que el diseño, tanto de los aparatos como de las observaciones, permite múltiples prestaciones, en lugar de quedar circunscripto a un ámbito de fenómenos específicos. El astrónomo Simon White (2007), quien adopta una postura crítica sobre algunos de estos aspectos, sostiene lo siguiente:

“Astronomers carry out observations to explore the diverse processes and objects which populate our Universe. High-energy physicists carry out experiments to approach the Fundamental Theory underlying space, time and matter. Dark Energy is a unique link between them, reflecting deep aspects of the Fundamental Theory, yet apparently accessible only through astronomical observation. Large sections of the two communities have therefore converged in support of astronomical projects to constrain Dark Energy. In this essay I argue that this convergence can be damaging for astronomy. The two communities have different

methodologies and different scientific cultures. By uncritically adopting the values of an alien system, astronomers risk undermining the foundations of their own current success and endangering the future vitality of their field. Dark Energy is undeniably an interesting problem to attack through astronomical observation, but it is one of many and not necessarily the one where significant progress is most likely to follow a major investment of resources.” / “Los astrónomos llevan a cabo observaciones para explorar los diversos procesos y objetos que pueblan nuestro universo. Los físicos de altas energías realizan experimentos para aproximarse a la teoría fundamental que subyace al espacio, tiempo y materia. La energía oscura es un vínculo único entre ellos, que refleja los aspectos profundos de la teoría fundamental, a la cual se accede aparentemente sólo a través de la observación astronómica. Amplias secciones de las dos comunidades han convergido al apoyar los proyectos astronómicos para restringir la energía oscura. En este artículo planteo que esta convergencia puede perjudicar a la astronomía. Las dos comunidades tienen metodologías y culturas científicas diferentes. Al adoptar sin criticar los valores de un sistema alienado, los astrónomos arriesgan las bases de su propio éxito actual y ponen en peligro la vitalidad futura de su campo. La energía oscura es indudablemente un problema interesante para atacar mediante la observación astronómica, pero es uno de los tantos y no necesariamente el único dónde se pueda dar un progreso significativo que involucre grandes inversiones de recursos.” (White, 2007, p. 883.)

Más allá del tecnicismo de este caso particular, además del enriquecimiento dado a partir del cruce interdisciplinario, es importante resaltar que ambas comunidades requieren de metodologías muy diferentes. De estas últimas se desprenden técnicas experimentales y prácticas observacionales, las cuales están supeditadas al diseño de los instrumentos disponibles. Para reflejar esto, White establece una comparación entre dos proyectos actuales de ciencia grande:

“A useful illustration of the contrasts between the motivation and the modus operandi of the two communities is provided by two current satellite telescopes: The Hubble Space Telescope (HST) and the Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP). These two projects have very different scale and duration (in particular, HST is well over 10 times as expensive as WMAP) but this is not the aspect of the missions which concerns me here. Both have been extremely successful and have had very substantial impact both in the professional scientific community and among the scientifically minded community at large. They can serve as

exemplars of supremely successful projects driven primarily by traditional astrophysicists in the case of HST, and by fundamental physicists and cosmologists in the case of WMAP.” / “Una ilustración útil del contraste entre la motivación del modus operandi de las dos comunidades está dada por los dos telescopios satelitales actuales: el telescopio espacial Hubble (HST) y la sonda anisotrópica de microondas Wilkinson (WMAP). Estos dos proyectos tienen una escala y duración muy diferentes (en particular, el HST es 10 veces más costoso que el WMAP) pero este aspecto no me concierne aquí. Ambos han sido extremadamente exitosos y han tenido un impacto substancial tanto en la comunidad científica profesional como en la comunidad en general de interés científico. Ellos son ejemplos de proyectos extremadamente exitosos que son llevados a cabo primariamente por los astrofísicos tradicionales en el caso del HST, y por los físicos y cosmólogos en el caso del WMAP.” (White, 2007, p. 884)

Este autor contrasta algunas características de ambos instrumentos, destacando a su vez las diferencias entre las dos culturas científicas y sus respectivos objetivos y expectativas. Por un lado, el HST es un telescopio diseñado para llevar a cabo variadas observaciones astronómicas. Ellas son empleadas con diferentes propósitos, según los distintos programas de investigación vigentes que van desde la observación de planetas menores, exoplanetas, estrellas y medio interestelar, hasta galaxias y sistemas de éstas. Muchos de los datos arrojados por este aparato han sido inesperados y han permitido mejorar notablemente tanto las técnicas, como ciertas habilidades de los astrofísicos. Además, los resultados observacionales alcanzados por este telescopio han trascendido a la comunidad astronómica (profesional y amateur), posibilitando un cambio sustancial tanto en la “imagen científica” como en la “imagen manifiesta” o cotidiana del mundo (Sellars, 1962). Por otro lado, el satélite WMAP es un aparato diseñado para llevar a cabo tareas específicas como parte de un proyecto experimental, siendo de interés sólo para un gran equipo de investigación dentro de la comunidad de los físicos. A diferencia del Hubble, la mayoría de los resultados brindados por este instrumento son los esperados. Ellos enriquecen el procesamiento de los datos mediante el desarrollo de nuevas técnicas estadísticas, causando un impacto menor en la sociedad en general y restringiendo su acceso epistémico.

Por otra parte, Harris (2003) sostiene que la distinción entre las fases de adquisición y de procesamiento de datos es difusa en la forma en que es planteada por

los científicos. Él afirma que una descripción en términos de modelos de datos es posible, permitiendo que el lenguaje de los mismos provea un contexto dentro del cual esclarezca el debate inherente al estatus epistémico de los datos y de su manipulación. Ello posibilita entender los objetivos y supuestos teóricos que subyacen en las diferentes etapas de ambas fases. Pese a que Harris no hace referencia a esto último, él demuestra que tal descripción ayuda a comprender que, en casos específicos, no pueden separarse la adquisición y el procesamiento como actividades independientes. Según este autor, lo que cuenta como datos crudos o instrumentales es usualmente diferente a los usos empleados por los científicos. Por esta razón, estos datos deben someterse a un grado de procesamiento antes de que puedan ser analizados. Así, la reducción de datos es un primer paso que consiste en eliminar los ruidos intrínsecos y extrínsecos de las bases de datos, descartando así los errores propios de las mediciones obtenidas. Luego, un segundo paso consiste en el ajuste de dichos datos, antes de ser interpretados según el modelo del fenómeno bajo investigación. Aquí, los datos crudos son presentados de manera discreta, para luego ser unidos y representados visualmente como una curva continua o bien un histograma, por ejemplo. Ambas representaciones permiten la identificación de regularidades y el reconocimiento de patrones visuales en tales bases de datos pre-procesadas. Según este autor, los científicos toman decisiones con respecto a la construcción y manipulación de los modelos de datos involucrados, siendo conscientes de las diferencias y similitudes entre ellos, es decir, entre un modelo de datos para la reducción y el ajuste, y otro para la interpretación física acorde al objeto en cuestión. De esta manera, es importante notar que los datos, tradicionalmente considerados instrumentales dentro de la jerga de los científicos, se refieren sin embargo a modelos de datos. Harris plantea una serie de razones posibles por las cuales los investigadores definen a estos datos como crudos. Una se corresponde a que estos últimos no son procesados ni manipulados por los científicos. Aunque los modelos de datos empleados por ellos no sugieren que los mismos estén procesados, de hecho, sí lo están. Otra posibilidad es considerar que dichos datos son puramente instrumentales, dado que no se relacionan con ninguna teoría en particular, y así no son influenciados por los supuestos teóricos que subyacen en cada modelo, incluso en aquéllos de una jerarquía. Por último, puede suceder que

se dé una posición única entre los fenómenos y su interpretación básica, o sea, entre los datos adquiridos y un modelo de datos de primer nivel. Sin embargo, él asevera que hay casos que involucran diferentes niveles de representaciones de datos vía modelos, los cuales son relativamente útiles conforme a los objetivos planteados en la investigación. Es posible que tales modelos no se ubiquen jerárquicamente e incluso que sean de un nivel básico. No obstante, ello no significa que los datos instrumentales no hayan sido interpretados o manipulados de alguna u otra forma. Así, Harris concluye lo siguiente:

“Beacause of this, I think that many cases should be described as not involving raw data of any kind... Notice that in these cases the process of data acquisition cannot be separated from the process of data manipulation. From the outset the data must be considered to be the product of a certain amount of purposeful manipulation. This can occur even when simple instruments are used... familiar measuring devices provide cases in which instruments do not produce uninterpreted or raw data... instruments require a certain amount of learned skill to be properly read... so the observer must learn how to determine the average reading... Until one learns the skills necessary to make these readings, neither instrument will yield an acceptable data model... When one moves from these relatively simple instruments... it becomes obvious that the instrument is not producing raw data (in the sense of being unprocessed), but data that has been interpreted and manipulated, in short, a data model.” / “Debido a esto, creo que muchos casos deben ser descriptos como que no poseen datos crudos de ningún tipo... Nótese que en estos casos el proceso de adquisición de datos no puede ser separado del proceso de manipulación de datos. Desde afuera los datos deben ser considerados como el producto de cierta cantidad de manipulación intensional. Esto puede ocurrir aún cuando instrumentos simples son usados... dispositivos familiares de medición proven casos en los cuales los instrumentos no producen datos crudos o sin interpretar... los instrumentos requieren de una cierta cantidad de destreza adquirida para una lectura apropiada... en consecuencia el observador debe aprender cómo determinar una lectura promedio... Hasta que uno no aprenda las habilidades necesarias para realizar estas lecturas, ningún instrumento va a brindar un modelo de datos aceptable... Cuando uno se mueve desde estos instrumentos relativamente simples... es obvio el hecho de que el instrumento no está produciendo datos crudos (en el sentido de ser no procesados), sino datos que han sido interpretados y manipulados, en suma, un modelo de datos.” (Harris, 2003, p. 1512)

Contrario a lo que Harris plantea, aquí se sostiene que es posible establecer una distinción bien marcada entre las actividades de adquisición y de interpretación; más precisamente, entre las distintas etapas involucradas en ambas fases. De esta manera, la problemática surge en torno de la simplicidad de la casuística considerada por este autor. En este sentido, el principio de parsimonia empleado resulta inapropiado para estudios de casos más complicados en el ámbito de la astronomía contemporánea. La sofisticación de los procesos observacionales recientes conduce a una fragmentación de innumerables prácticas astrofísicas que incluyen diferentes áreas dentro de las comunidades, tanto de ingenieros como de astrónomos. Así, la automatización de los sistemas multi-instrumentales actuales conduce a la generación masiva de datos y a una “sobredosis” al momento de su procesamiento. Sin embargo, ello no obliga a pensar que dichas actividades, en sus respectivas etapas, puedan ser inseparables. Esto se debe a que las diferentes técnicas observacionales involucradas son, en gran medida, autónomas.

La propuesta de Harris, en términos de “manipulación” de datos, confunde estas dos fases bien diferenciadas al situar cierto procesamiento en las variadas etapas de adquisición o de creación de datos. Aunque la elaboración de estos últimos está asociada a los diversos mecanismos instrumentales de producción e incluye niveles de análisis e interpretación de los datos adquiridos, esto no significa que tales prácticas sean indistinguibles, ni tampoco que no se pueda hacer referencia a los datos crudos.

En otras palabras, como se describió en el segundo capítulo, las prácticas astronómicas que emplean óptica activa y óptica adaptativa, por ejemplo, involucran una serie de técnicas instrumentales específicas, relativamente independientes entre sí. Dada la sofisticación de este caso, ello representa un desafío tanto para los ingenieros a cargo de los procesos computacionales requeridos, como para aquellos ópticos que calibran tales sistemas instrumentales a fin de producir imágenes de mejor resolución. En este sentido y pese a que determinados auxiliares observacionales (humanos y/o automáticos) son empleados posteriormente en la reducción y en el ajuste de dichos datos instrumentales, estos aparatos están configurados para realizar interpretaciones parciales a la hora de producirlos, tales como las deformaciones necesarias de algunos espejos para contrarrestar y reducir la perturbación atmosférica. De esta manera, la

fase de procesamiento o interpretación de datos, en sus distintas instancias correspondientes tanto a exámenes ingenieriles (la puesta a punto de piezas de equipo) como a análisis astrofísicos, está presente en la fase de adquisición, aunque no de forma contundente.

Así, se obliga a repensar la propuesta de Harris, la cual asevera que el criterio de demarcación entre ambas actividades, más que borroso es inaplicable. Debido a los sesgos teóricos presentes en aquellas etapas que requieren algún tipo de interpretación, este autor afirma la vaguedad del concepto de dato crudo. Por el contrario, aquí se sostiene que esta última noción, más allá de sus diversos usos, no encierra ambigüedad alguna, ya que representa claramente el nivel de ignorancia epistémica que los astrónomos poseen al momento de adoptar datos pre-procesados. En otras palabras, los datos crudos o instrumentales muestran las limitaciones de los diferentes modelos de datos involucrados, sobre todo de aquéllos astronómicos empleados en la fase de procesamiento, propiamente dicha. Esto revela el grado de confiabilidad que tienen los astrónomos sobre las bases de datos observacionales, adquiridos de segunda o de tercera mano. De esta forma, la evidencia disponible está determinada por la certeza obtenida a través de los meta-datos de capas de modelos usados previamente, dada la imposibilidad del propio modelo de datos de poder brindar tal información sobre su manipulación.

V.16 Selección y ajuste de parámetros en cosmología observacional

A continuación, a partir de estudios recientes (Lagos et al., 2008) sobre la formación y evolución de las galaxias, conforme a la estructura observable del universo a gran escala, se pretende mostrar, de forma concreta, los alcances y rostros que tiene la categorización de Suppes. Dada sofisticación de este caso, se combinan diferentes teorías que conforman la teoría del fenómeno a investigar. Como realizaciones posibles de esta última se generan modelos, los cuales incluyen a su vez otros que se corresponden a las teorías de los diversos aspectos del fenómeno en cuestión. Estos sub-modelos son conocidos, en las prácticas astronómicas, como un modelo cosmológico estándar, un modelo de materia oscura fría y un modelo astrofísico que

integra los diferentes mecanismos propios del gas intergaláctico, galaxias, estrellas y agujeros negros súper masivos.

Por otra parte, en el nivel del experimento se consideran aquellas teorías pertinentes a las técnicas y métodos actuales vinculados a la realización de simulaciones numéricas. Entre éstas se pueden mencionar la teoría de resolución numérica de ecuaciones diferenciales, la teoría sobre las condiciones iniciales y de contorno y las teorías referentes a la implementación de fenómenos astrofísicos en simulaciones computacionales.

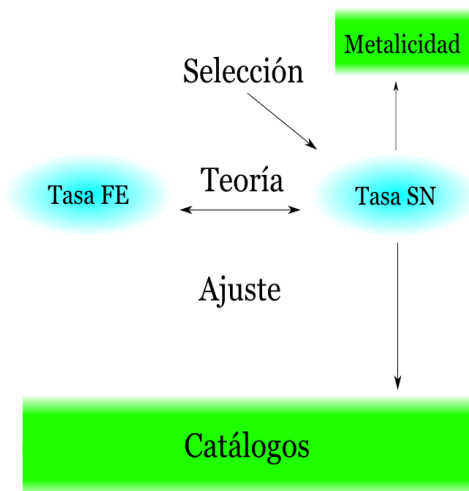
De esta manera, los modelos posibles del experimento incluyen un método numérico de integración, consideraciones sobre dichas condiciones iniciales y de contorno y un sub-modelo llamado en la práctica “modelo semi-analítico”. Este último permite tener en cuenta los diversos procesos astrofísicos que ocurren por debajo del rango dinámico de integración numérica. Dentro del modelo experimental, más precisamente en este modelo semi-analítico, se introducen parámetros observacionales que son seleccionados y ajustados con el fin de adecuar los resultados del modelo computacional a los datos provistos por los diversos catálogos de galaxias observadas.

En esta dirección, los resultados logrados a partir del modelo del experimento numérico son datos instrumentales o crudos, los cuales son procesados y reducidos mediante un modelo de datos que permite atribuirles valores observables. Para ello, el modelo de datos es uno de contraste entre los resultados de la simulación y los catálogos antes mencionados, incluidos en el modelo del diseño experimental (Bozzoli y Paz, 2009). De acuerdo con el esquema suppesiano, la parametrización se encuentra en el nivel del experimento y los parámetros observacionales están determinados estadísticamente por la teoría inherente a la formación y evolución de las galaxias.



[FIG. V.13]

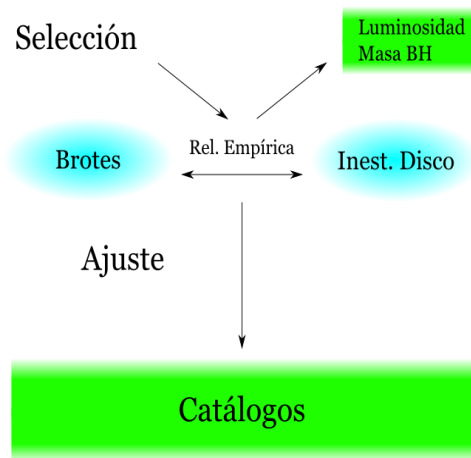
Así, es posible que la teoría del fenómeno permita estimar y elegir tanto el parámetro de la formación estelar como aquél que asigna la tasa de supernovas en las galaxias. Ambos parámetros regulan valores observables mutuamente dependientes a nivel teórico, o sea, la tasa de natalidad y de mortandad estelar, respectivamente.



[FIG. V.14]

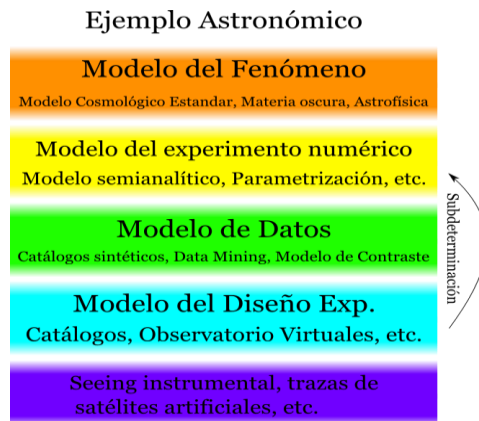
No obstante, la selección y el ajuste del parámetro de supernovas se encuentra restringido, a diferencia del primero, a un conjunto independiente de observaciones sobre la metalicidad del gas del medio intergaláctico.

Por otra parte, existen otros parámetros observacionales, mutuamente dependientes, pero no en el estrato del modelo del fenómeno. Dichos parámetros están relacionados en el nivel del experimento mediante relaciones empíricas dadas por la observación. Específicamente, la presencia de agujeros negros en los núcleos de las galaxias afecta los resultados arrojados por la simulación. El crecimiento de estos objetos viene dado por dos parámetros: inestabilidades originadas por el disco galáctico y brotes de formación estelar. Ambos son seleccionados de acuerdo a una relación empírica observada entre la luminosidad del bulbo de la galaxia anfitrión y la masa del agujero negro huésped. Esta relación permite la adecuación de tales parámetros a través de su calibración mediante observaciones independientes.



[FIG. V.15]

De esta manera, el contenido empírico es transmitido a los niveles superiores de la jerarquía no sólo mediante el análisis provisto por el modelo de datos. Paralelamente, la selección y el ajuste de parámetros están sub-determinados por ciertas observaciones consideradas en el diseño experimental, las cuales están interrelacionadas con otros modelos de datos.



[FIG. V.16]

Este ejemplo muestra que la jerarquía sugerida por Suppes, y aquellos estudios basados en esta propuesta, dejan de lado una actividad que ocupa un rol central en las prácticas observacionales vinculadas a la modelización computacional de fenómenos astrofísicos complejos. Con un caso astronómico estándar, se intentó ilustrar que dicha actividad no está definida de manera abstracta por los diferentes niveles teóricos de esta jerarquía. De esta manera, la selección y el ajuste de parámetros observacionales se hallan infra-determinados por aquellas capas que exceden los límites de las teorías del fenómeno y del experimento, respectivamente. Aunque el modelo de datos transfiere contenido empírico a los estratos superiores, aquí se sostiene que los conjuntos de datos observacionales, integrados al diseño experimental, condicionan la parametrización y por ende a las técnicas necesarias para el modelado computacional. Debido a la complicación del diseño experimental, dada por bases de datos y conjuntos modulares de observaciones interconectadas con múltiples modelos de datos, se concluye además que no es factible formalizar este nivel. Incluso, se considera que no es posible caracterizar tal sub-determinación como una condición general vinculada a los variados aspectos intuitivos propios del diseño observacional/experimental que subyacen en las prácticas astronómicas más recientes.

V.17 Representaciones visuales de datos

La mayoría de los astrónomos son conscientes de la importancia que poseen las imágenes, los diagramas y los esquemas en sus investigaciones. Ellos valoran tanto los medios de producción como los cambios de representaciones visuales que conducen eventualmente a un descubrimiento. En la actualidad, la enorme cantidad de datos astronómicos suele hallarse aunada en entornos como el que presentan los observatorios virtuales, los cuales albergan bases de datos muy variadas provenientes tanto de las observaciones como de los resultados de ciertas simulaciones computacionales. Estos reservorios de bases de datos multidimensionales proveen además las técnicas y los auxiliares informáticos para la minería, la exploración y la visualización de datos. A los propósitos de este apartado, se prestará atención a este último punto y se mostrarán algunas dificultades del mismo.

Diferentes enfoques han abordado el rol crucial que tienen las representaciones visuales en las prácticas observacionales, situándose históricamente en la época analógica, fuera de la era digital, y prescindiendo de las técnicas más recientes (Galison, 1997; Hentschel, 1997, 2000, 2002; Daston & Galison, 2007; Daston & Lundbeck, 2011). Otros autores, en cambio, ponen énfasis en la elaboración de imágenes astronómicas digitales y de su tratamiento computacional (Wise, 2006; Kessler, 2007, 2012). Algunos de ellos acentúan aquellas técnicas basadas en la visualización humana, tales como la relevancia del color en la formación de una composición de varias imágenes (color verdadero, falso color y pseudo-color) (Villard & Levay, 2002; Rector et al., 2005, 2007, 2017; Arcand et al., 2013). Por otra parte, hay una notable tendencia hacia la visualización computacional, la cual involucra tanto una visión artificial (telescopios, radiotelescopios y detectores varios) como así también sofisticados procesos computacionales que posibilitan este tipo de visualización. Estos últimos van desde programas para la adquisición y la reducción de datos observacionales (IRAF, Aladin, sistemas expertos asistidos o no, entre otros) hasta el software necesario para elaborar visualizaciones de datos simulados en cosmología, el cual dependerá del tipo de modelo de simulación, ya sea por ejemplo hidrodinámica (Frenk et al, 1999) o de partículas (programas como *Plotch* o *ParaView*,

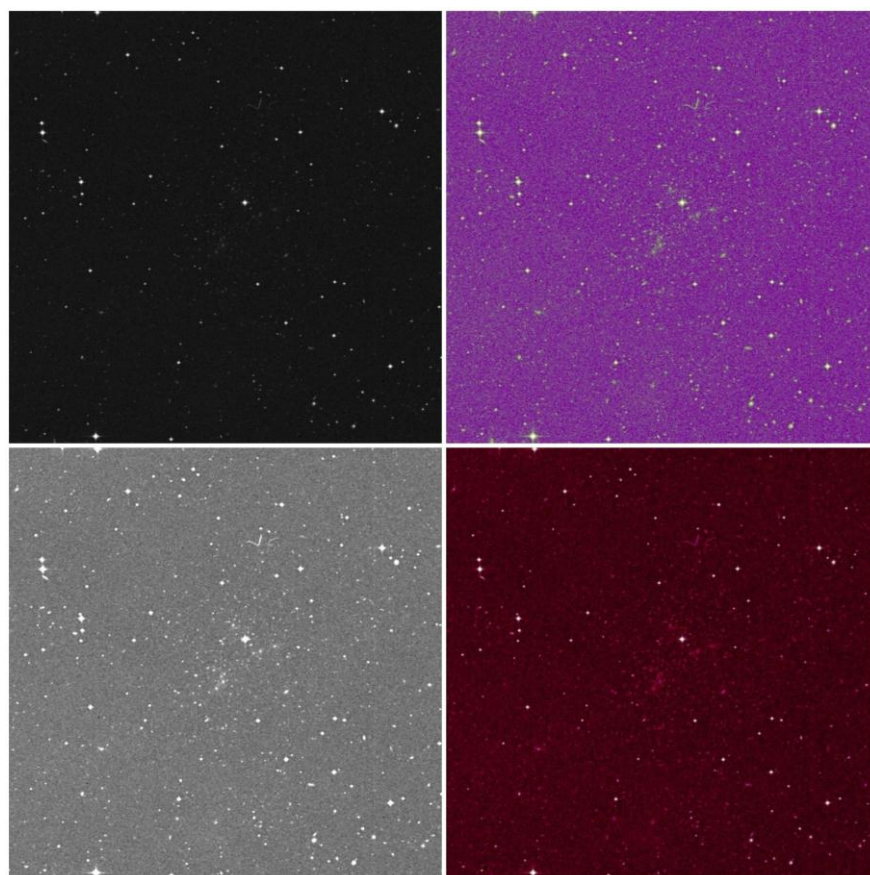
respectivamente). En esta dirección, varios autores (Way, 2012; Edwards & Gaber, 2014), atraídos por el denominado “cuarto paradigma” (Szalay & Gray, 2006), consideran el procesamiento de grandes volúmenes de datos en la llamada era de la astronomía peta-escala. Sin embargo, algunos de ellos sostienen que la visualización humana es necesaria a la hora de interpretar los resultados obtenidos por los métodos automatizados. De esta manera, a diferencia del sistema computacional, el sistema visual humano es un complemento robusto para identificar y reconocer eficientemente patrones visuales (Fluke et al., 2006, 2009; Hassan et al., 2010; Hassan & Fluke, 2011; Hassan et al., 2013; Dykes et al., 2018).

Al compararse las observaciones obtenidas de cúmulos de galaxias en interacción, en particular las del *Bullet Cluster* que evidencian la presencia de la exótica materia oscura en el universo (Markevitch et al., 2006), con los resultados alcanzados por los modelos de simulación (Springel & Farrar, 2007), se mostrará aquí que los cambios de representaciones asociados permiten ponderar entre grados de visión, de visualización y de representación visual, tanto humana como computacional. Se concluirá que estos cambios no sólo hacen posible una validación externa cualitativa de las simulaciones, sino que proporcionan una valoración cuantitativa de las observaciones.

V.18 Representaciones visuales de datos observacionales

Dada la relevancia que tienen las representaciones visuales en la observación astronómica actual, ya sean pictóricas (espectros, fotografías o imágenes) o no pictóricas (diagramas, esquemas, etc.), surge la necesidad de repensar algunas de sus funciones epistémicas y el lugar que ocupan tanto en los diferentes procesos observacionales involucrados como en sus respectivos resultados. En este sentido, la importancia de un lenguaje visual, no verbal, como medio de comunicación en prácticas que van desde la enseñanza y la divulgación científica hasta la astro-informática, se ha acrecentado notablemente en las últimas décadas. En esta sección se pondrá énfasis en algunas de las técnicas más recientes que forman parte de esta última práctica, la cual se encuentra íntimamente vinculada a la astro-ingeniería; ambas introducen un

ámbito interdisciplinario entre astrónomos estadísticos e ingenieros informáticos, ópticos y electrónicos. Si bien esta perspectiva contempla, eventualmente, aspectos artísticos en la elaboración de tales representaciones, en este trabajo sólo se considerarán criterios epistémicos. A diferencia de los estéticos, estos últimos permiten extender, en un contexto de búsqueda dado, la base del conocimiento astrofísico disponible. Tal es el caso cuando se toma una fotografía de un objeto observado en luz visible y se elaboran varias representaciones, sin alterar la información observacional que se presenta. Así, al obtener una serie de imágenes coloreadas de un cúmulo de galaxias, se generan cambios de representaciones que permiten identificar y resaltar los diferentes rasgos físicos y morfológicos del mismo. Empleando criterios no estéticos se asignan colores particulares, cuyas escalas (sean monocromáticas o pancromáticas) no sólo pueden ser modificadas, sino además su brillo, su contraste y su saturación. Ello facilita el acceso del agente humano, a la hora de descubrir nuevas propiedades subyacentes del fenómeno observado.



[FIG. V.17] IMAGEN DEL BULLET CLUSTER TRATADA CON EL SOFTWARE *DS9*.

Dado que las cámaras digitales más recientes (CCD's, CMOS's, etc.) son aparatos que detectan la luz proveniente de objetos astronómicos muy variados (puntuales, difusos o extensos) la posibilidad de medir la electricidad de cada pixel nos provee información de la intensidad de la radiación incidente pero no de su color, tal como muestra un histograma. De esta manera, las cámaras empleadas en astronomía, a diferencia de las cámaras comerciales, sólo pueden producir imágenes en blanco y negro, o bien, en escalas monocromáticas. Así, los colores son asignados y se corresponden a diferentes energías y longitudes de onda de una banda espectral dada; por ejemplo, el color rojo posee una mayor longitud, aunque su rango energético sea el más bajo dentro del espectro visible.

Por otra parte, la intensidad del color varía según su sensibilidad en la fisiología del ojo humano normal. Este parámetro de la visión es de suma importancia a la hora de atribuir colores característicos, tanto en la elaboración de las representaciones visuales, como en su visualización posterior. Cabe destacar la relevancia del color como un rasgo inherente a la visión y una propiedad intrínseca de la visualización humana. Esta última hace posible el reconocimiento de patrones que conducen a un descubrimiento que no es casual, sino a uno basado en un conocimiento particular de lo que se está percibiendo. Este tipo de visualización, a través del ojo, permite identificar más detalles en imágenes a color que en aquellas representaciones monocromáticas.

Una de las técnicas más usadas es la de los tres colores, la cual consiste en producir representaciones a color a partir de otras en escalas de grises. Este método tradicional consiste en transformar, a través de filtros de colores, una imagen en blanco y negro y pasarla a una roja, a una verde y a otra azul. Así, al combinar estas últimas, se obtiene una imagen full color, empleando tres bandas distintas de luz visible. Dado que las antiguas placas fotográficas proveían un registro confiable de un amplio campo visual del cielo, los primeros detectores electrónicos, y las nuevas prácticas asociadas a ellos, fueron resistidos. No obstante, el avance tecnológico de las últimas décadas marcó una tendencia dominante en la manipulación digital de grandes volúmenes de datos observacionales en sus fases de adquisición y de procesamiento, respectivamente. En este sentido, el empleo de técnicas basadas en el modelado matemático del proceso de formación de una imagen, a través de herramientas de

software para su “deconvolución”, permite corregir computacionalmente la imagen degradada por ruidos instrumentales (intrínsecos) y ruidos naturales (extrínsecos).³¹

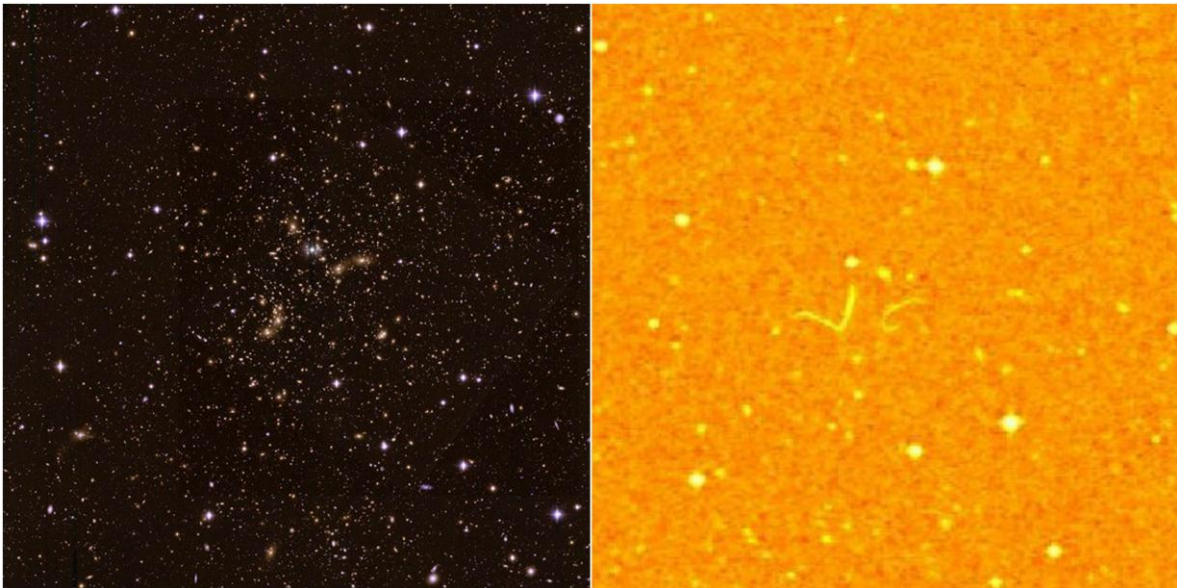
Al mismo tiempo que los CCD's mejoraban su eficiencia cuántica, se creaban programas computacionales más sofisticados para el procesamiento de las imágenes provistas por los nuevos telescopios terrestres y por aquéllos puestos en órbita. Dada la posibilidad de observar fenómenos astrofísicos en diferentes regiones del espectro (IR, rayos X, ondas de radio, etc.), la conformación de bases de datos a partir de distintos mecanismos de producción hizo que los auxiliares informáticos empleados se convirtieran en herramientas insustituibles de la observación astronómica actual. Así, estos programas tienen la capacidad de superponer, en capas, múltiples imágenes para luego combinarlas en una sola. Esta técnica computacional permite no sólo componer imágenes en más de tres colores, sino codificar la información correspondiente a longitudes de onda invisibles a la percepción, en otra visibles. La habilidad de poder representar en capas todos los datos observacionales disponibles es crucial a la hora de producir las fotos más impresionantes del universo. Esta técnica puede aplicarse en las representaciones visuales logradas tanto por instrumentos específicos, como las composiciones de color del campo profundo y ultra profundo del telescopio espacial *Hubble*, como así también por aquéllos telescopios espaciales que observan en otras longitudes de onda, tales como *Spitzer* en infrarrojo o *Chandra* en rayos X.

Más allá de los tipos y subtipos de células fotosensibles (conos y bastones) que conforman la visión humana normal, exceptuando las alteraciones fisiológicas en los ojos de algunas personas, el cerebro interpreta y combina las señales que provienen de la retina, a través del nervio óptico, haciendo posible la percepción del color. Rector et al. (2017), sostienen que, de forma análoga a la humana, la visión artificial que proveen los telescopios no sólo poseen la capacidad de aumento, sino también de amplificación y de rectificación o resolución. Ello significa que este sistema visual permite no sólo el aumento dentro de un rango espectral específico, sino la ampliación a otras longitudes de onda y la resolución en separaciones y tamaños angulares de objetos extensos o puntuales. Así, la imagen “cruda” conformada es procesada y visualizada

³¹ Un caso paradigmático fue el tratamiento que requirieron las primeras imágenes obtenidas por el telescopio espacial Hubble (HST), antes de que fuera reparado por la aberración esférica, presente en su espejo primario, a través de la óptica correctiva (COSTAR).

computacionalmente de tal manera que pueda ser accesible al agente epistémico. En otras palabras, estos autores afirman que las imágenes astronómicas son una traslación de lo que un telescopio puede “ver” a lo que los ojos ven y, en consecuencia, a lo que el sistema cognitivo reconoce e interpreta. Lejos de las variaciones culturales en las diversas caracterizaciones de la noción de color, tales como la asociación de ideas entre el color rojo o azul y la sensación de calor o frío, al visualizar una imagen se deriva información relevante de los colores presentados. En este sentido, cuando se usa el color para identificar y discernir propiedades físicas de los objetos observados se diferencian del sentido común. Así, las estrellas azules (clase O) poseen una temperatura mayor que aquéllas de tipo espectral rojo (clase M), por ejemplo.

Al elaborar una representación visual de alta calidad es necesario disponer de una variedad de bases de datos observacionales. Cada una de estas bases puede corresponderse a una longitud de onda particular, polarizada o no, como una imagen óptica a través de un filtro dado o una imagen en rayos X o en radio en un rango específico. La práctica de seleccionar entre conjuntos de datos disponibles se la conoce comúnmente como “mapeo”. Una vez reducidos los datos (mediante técnicas como *lights*, *darks*, *bias* y *flats*, en el caso de aquéllos ópticos), a través de un paquete de software estándar, los mismos son corregidos y convertidos en una imagen monocromática. Luego, el programa permite apilar estas imágenes en capas, ajustando su intensidad e incrementando o disminuyendo el contraste sobre las áreas de interés. Posteriormente, se asignan colores a cada capa y, una vez balanceados, se remueven los ruidos residuales.

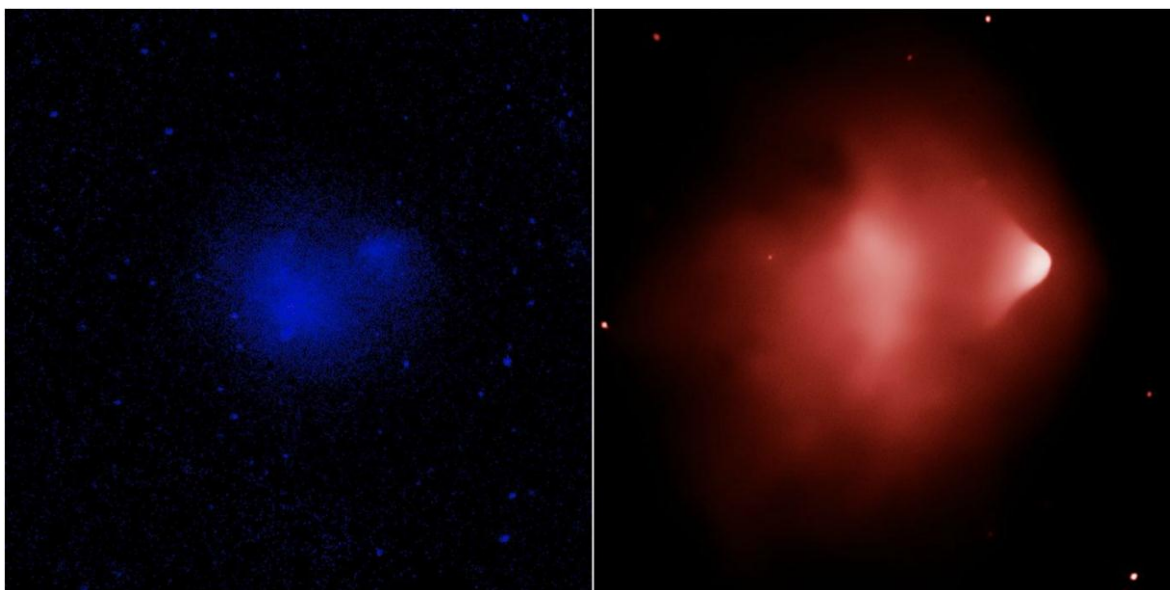


[FIG. V.18] COMPOSICIÓN DE IMAGENES ÓPTICAS TOMADAS POR EL *HST* (IZQUIERDA) Y TRATAMIENTOS DE “ARTEFACTOS” CON *DS9* (DERECHA).

Según Rector et al. (2007), este proceso pareciera darse paso a paso, pero no siempre es así. Ello significa volver a alguno de los pasos previos para ajustar la escala de una capa particular a fin de mejorar la asignación y el balance de los colores presentes en la imagen. De los programas de procesamiento de imágenes más recientes se derivan nuevas técnicas que permiten optimizar el flujo de trabajo en la elaboración y el tratamiento de las representaciones visuales. Por ejemplo, al mejorar el algoritmo de pantalla, flexibilizando la interface entre módulos de datos interconectados y el usuario, no sólo se combinan las diferentes capas logradas, sino que pueden identificarse áreas específicas de las mismas en una sola imagen. Esta característica crucial muestra la conjugación, inseparable, entre la visualización humana y la visualización computacional.

Por un lado, las observaciones extragalácticas de carácter cosmológico contemplan principalmente las estrellas que constituyen las galaxias, es decir, el material estelar y no así el gas y el polvo del medio interestelar. Sin embargo, al observar grupos y cúmulos de galaxias (compactos, regulares o irregulares) no sólo se considera el espacio intergaláctico, cuya densidad es extremadamente baja (de un átomo de hidrógeno por metro cúbico), sino el medio intracúmulo, compuesto

fundamentalmente por gas en estado de plasma que emite en rayos X, donde la intensidad de su brillo es directamente proporcional a la densidad del mismo gas. De esta manera, al mapear las propiedades astrofísicas de estos objetos, los datos observacionales obtenidos están condicionados a bandas espectrales específicas. A diferencia de la materia estelar presente en las galaxias, la cual emite radiación en todas las longitudes de onda, el gas de un cúmulo irradia fuertemente en X y muestra líneas de emisión correspondientes a elementos particulares, como el hidrógeno y el helio ionizados. Estos últimos pueden ser representados con colores bien separados, pero ello no ocurre al asignar colores a los espectros continuos de las galaxias del cúmulo, debido a que los filtros empleados son estrechos y por lo tanto se pierde el orden cromático. No obstante, al combinar las imágenes del mapeo a través de diferentes bandas con distintos filtros se logra una composición con escalas, lineales o logarítmicas, de colores representativos.



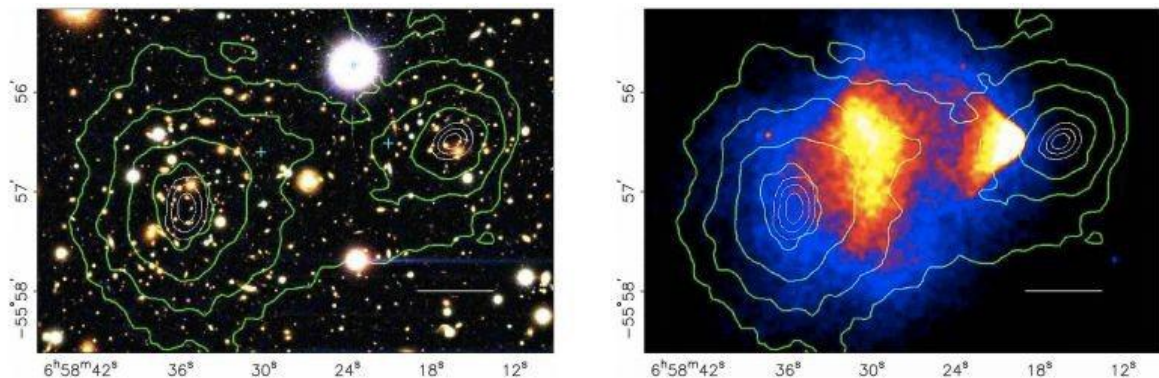
[FIG. V.19] IMÁGENES EN RAYOS X OBTENIDAS POR EL TELESCOPIO ESPACIAL CHANDRA: “CRUDA” (IZQUIERDA) Y “SUAVIZADO” (DERECHA).

Por otra parte, bases de datos discrepantes en resolución pueden ser empleadas a la hora de mejorar una composición fotográfica dada, extendiendo un campo visual reducido, o bien, rellenando los espacios vacíos de las áreas irregulares que están

presentes en la misma composición. Así, el software permite combinar imágenes con campos de visión tanto angostos como amplios, de alta y de baja resolución, para lograr una imagen full color de una vasta región del universo. El extenso rango dinámico, presente en las fotos de aquellos objetos astrofísicos brillantes, requiere de tratamientos especiales que involucran cierta manipulación de los datos observacionales correspondientes a las regiones más brillantes y a las más oscuras de tal composición. A fin de realzar estas últimas, saturando lo menos posible las primeras, el programa incrusta máscaras que encubren las zonas suturadas, dejando al descubierto aquéllas de interés.

La realización de representaciones visuales es una práctica cada vez más sofisticada. Ello se debe al desarrollo tecnológico de la visión artificial, como la resolución dada por el número de píxeles de un detector o de una pantalla, así como también a los adelantos técnicos en la visualización computacional, tales como la implementación de programas auxiliares, expertos o no, para la adquisición, reducción y procesamiento de múltiples bases de datos. Diferentes esquemas de colores pueden ser empleados al momento de elaborar una representación visual determinada, lo cual conlleva al uso ambiguo de algunos términos técnicos, propios de las prácticas observacionales. En la mayoría de los casos, el “color verdadero” es usado cuando una imagen es creada a partir de filtros ópticos de banda ancha que reproducen, vagamente, los grados de foto-sensibilidad de los conos rojos, verdes y azules (RGB) que conforman la retina del ojo humano. No obstante, dichas imágenes no se corresponden necesariamente a lo que el sistema visual humano puede percibir, ya que la receptibilidad del color varía según la cantidad de luz incidente. Este aspecto es notable cuando se logra visualizar de forma natural, a través de un telescopio convencional, el color de objetos extensos como nebulosas o galaxias, por ejemplo. Estos fenómenos presentan colores característicos inherentes a propiedades astrofísicas concretas, como la ionización del hidrógeno ($H\alpha$), o la doble ionización del oxígeno ($O III$), entre otras. En el primero, la línea de emisión se centra en la banda roja del espectro óptico, mientras que la del segundo se sitúa entre los colores azules y los verdes. Aunque ambas líneas poseen longitudes de onda visibles, la visión humana es más sensitiva a estos últimos. No ocurre lo mismo al visualizar objetos puntuales como

estrellas, ya que su espectro continuo hace que la radiación incidente sea sustancialmente mayor, lo cual permite percibir sus colores. Según Rector et al. (2005), los términos “falso color” y “pseudo-color” también son usados de manera inconsistente, generando controversias entre los diferentes métodos involucrados en un procedimiento observacional dado. Cuando una representación es creada por dos o más filtros ópticos de banda estrecha, y los colores asignados no coinciden con aquéllos propios de los filtros, se la llama falso color. En el caso de elaborar representaciones basadas en datos no ópticos, invisibles a la percepción humana, los colores son asignados en función de lo que se pretende destacar en las mismas. Así, al seguir un orden cromático específico, éstas son denominadas imágenes de colores representativos. En una imagen pseudo-color el esquema de colores no está relacionado con la percepción visual. Cada color es codificado en una imagen monocromática para reflejar ciertas propiedades físicas, tales como los isocontornos gravitacionales generados a partir de los estudios de microlentes.

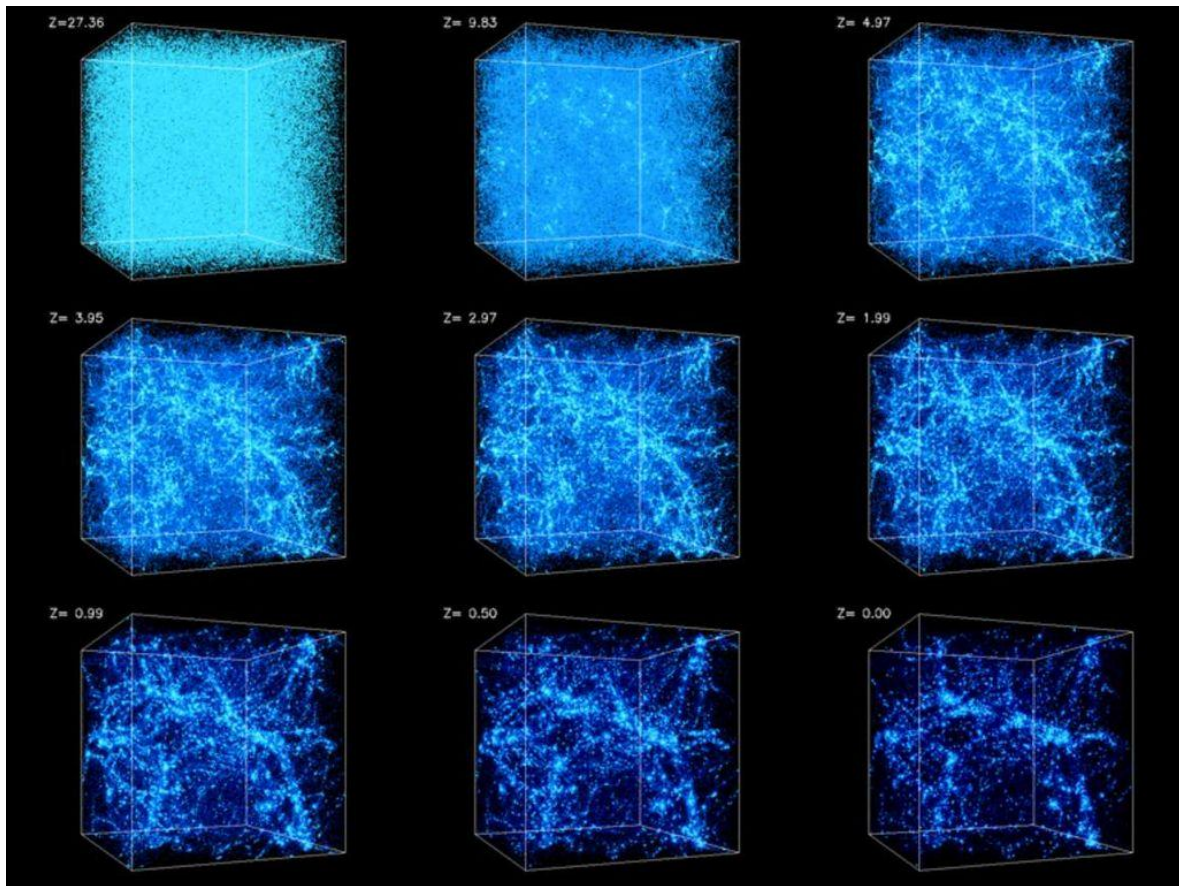


[FIG. V.20] IMÁGENES ÓPTICA Y DE RAYOS X CON SUPERPOSICIÓN DE CONTORNOS QUE REPRESENTAN LA SEGREGACIÓN DE LA MATERIA OSCURA CON RESPECTO A LA DISTRIBUCIÓN DE MATERIA OBSERVADA.

Todas estas representaciones visuales pueden combinarse en una sola imagen multispectral, como así también en otra híbrida, con aquéllas logradas a través de simulaciones computacionales.

V.19 Representaciones visuales de datos simulados

Hassan & Fluke (2011, 2017), sostienen que la visualización humana posee la habilidad de reconocer patrones, superando la capacidad de identificación de la mayoría de los sistemas expertos, asistidos o no, empleados en astrofísica. De allí la importancia de los proyectos de ciencia ciudadana, como los llevados a cabo por *Zooinverse*, que permiten clasificar objetos astronómicos muy variados, como *Galaxy Zoo* o *Disk Detective*, en grandes bases de datos. Usando auxiliares informáticos, tal visualización, basada en conocimientos observacionales disponibles, hace posible descubrir propiedades nuevas de los fenómenos investigados. Al igual que las composiciones de imágenes mencionadas anteriormente, las representaciones visuales de las simulaciones son producidas a partir de bases de datos multi-dimensionales. A diferencia de las representaciones logradas por la vía observacional, las cuales son en su mayoría bidimensionales, ya sean pictóricas o no, la producción de imágenes basadas en datos simulados considera procesos de conversión de éstos en tres o más dimensiones. Ello significa que los datos numéricos son geoméricamente estructurados de manera tal que puedan ser visualizados por el agente humano.



[FIG. V.21] BOX COSMOLÓGICO 3D. REPRESENTACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS A GRAN ESCALA DEL UNIVERSO EN DISTINTAS FASES DE SU EVOLUCIÓN.

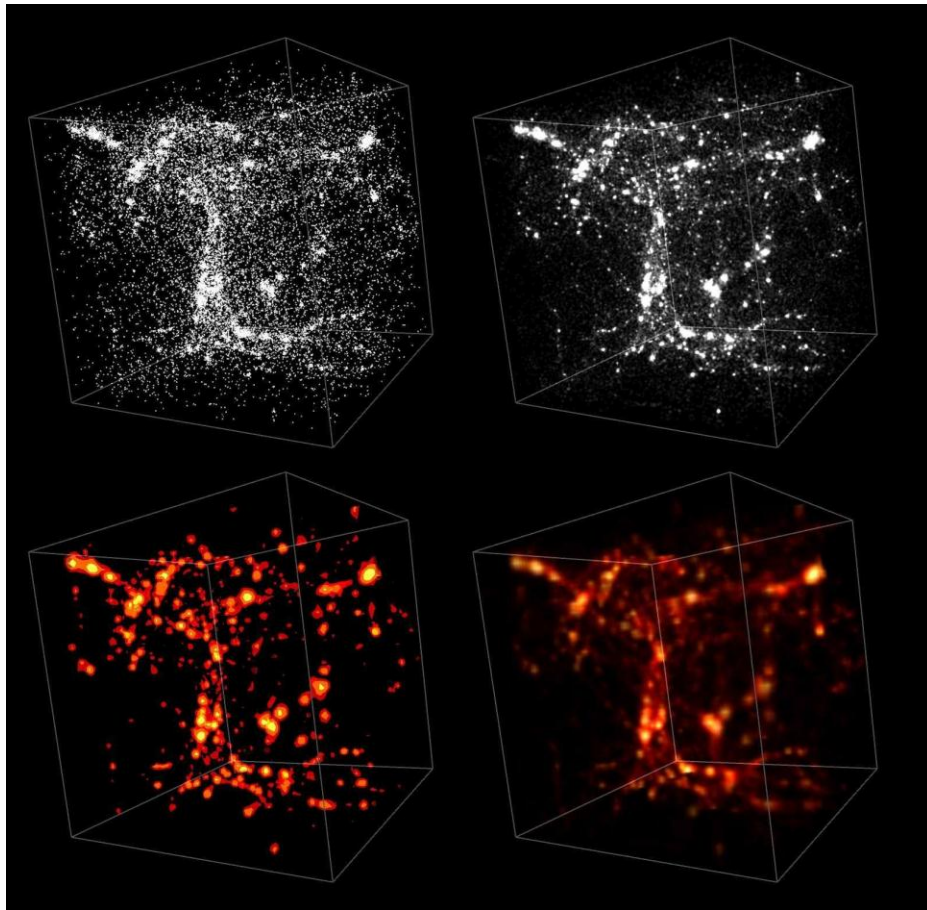
Según estos autores, este acceso epistémico permite el inter-juego entre una visualización artificial y otra natural, haciendo posible la interacción entre procesos computacionales variados y ciertos procesos cognitivos. Cabe destacar aquí, que el énfasis está puesto en el entendimiento tanto del sistema natural como del artificial. En consecuencia, la interpretación de los datos arrojados por una simulación incluye además un conocimiento de fondo de ambos sistemas al momento de establecer un análisis cualitativo y cuantitativo de los resultados representados visualmente.

Las técnicas empleadas para mostrar datos numéricos permiten una presentación gráfica o “renderización” en la pantalla, de superficies, volúmenes y líneas de flujo dadas en una imagen. Estos últimos aspectos representan propiedades astrofísicas concretas de un fenómeno particular simulado. Para ello es necesario implementar algoritmos eficientes de visualización que reflejen eficazmente las

estructuras de datos, y bases de éstos, cada vez más sofisticados tanto en dimensionalidad (2D, 3D, etc.) como en tamaño (de los terabytes hacia los petabytes), respectivamente. Al mantenerse dicho inter-juego entre la capacidad de reconocimiento de patrones y el desempeño del cómputo de alto rendimiento, sea cual fuese su arquitectura, el usuario visualiza los datos arrojados por el modelo computacional. Esta interacción no sólo sucede durante el proceso en el cual corre la simulación, permitiendo la intervención del sujeto epistémico al momento de direccionar la iteración de la misma, sino que además ocurre en la representación visual del resultado final del mismo proceso. En esta dirección, Hassan & Fluke (2011) destacan una diferencia sutil entre visualizaciones, sean naturales y/o artificiales de índole científica, o bien, de la información disponible. Este último tipo de visualización involucra la manera en la cual se presentan los datos multi-dimensionales, observacionales o simulados, y se los interpreta en función de cómo son adquiridos y cómo pueden relacionarse. A modo de ejemplo, estos autores mencionan que un ploteo tridimensional de las ubicaciones espaciales (x, y, z) de las partículas en una simulación de n-cuerpos, en donde no es usada una codificación de color para representar propiedades del modelo del fenómeno simulado es visualización de la información. A diferencia, cuando se colorean las partículas conforme a su densidad local o temperatura, o cuando se emplean técnicas para presentarlas en un modelo (de superficie o de volumen) que representa estructuras a gran escala del universo, la visualización es científica. La controversia en torno de si los datos observacionales “crudos” están o no procesados también involucra a los datos simulados. A fin de escapar de esta problemática, la cual conduce a la dicotomía entre la presentación o la representación, los datos numéricos son considerados, de una u otra forma, según los objetivos planteados en cada investigación.

Como se mostró antes, la visualización de datos observacionales posee sus propios desafíos en términos de volumen de datos, rango dinámico, relación señal-ruido, muestreo incompleto o escaso, etc. En contraste, el reto de la visualización de datos simulados estriba en el número de partículas consideradas, la resolución de la grilla, el rango temporal de la simulación, entre otros. Sin entrar en más detalles, algunas de las técnicas de visualización, frecuentemente usadas en simulaciones

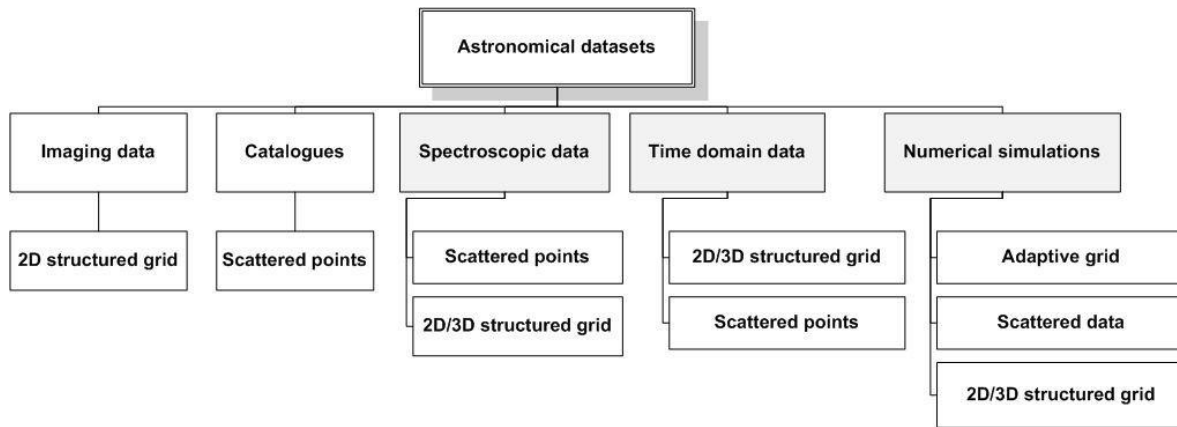
cosmológicas, para presentar datos tridimensionales consisten en: trazar puntos cuyas extensiones sean similares a las de los píxeles es la forma más directa, aunque está limitada por la resolución de la pantalla; para reemplazar objetos puntuales, otro método emplea texturas más pequeñas perfiladas de manera gaussiana. Otra modalidad es la de superficie de isodensidad, la cual es equivalente al contorneado. Esta última involucra algoritmos que permiten la extracción de las isosuperficies de un conjunto volumétrico de datos. Otro procedimiento, proporciona una imagen global de estos últimos, presentando las superficies externas y sus estructuras internas (3D) más débiles y difusas.



[FIG. V.22] MÉTODOS ESTANDAR DE VISUALIZACIÓN, APLICADOS A UNA BASE DE DATOS DE UNA SIMULACIÓN COSMOLÓGICA DE N-CUERPOS.

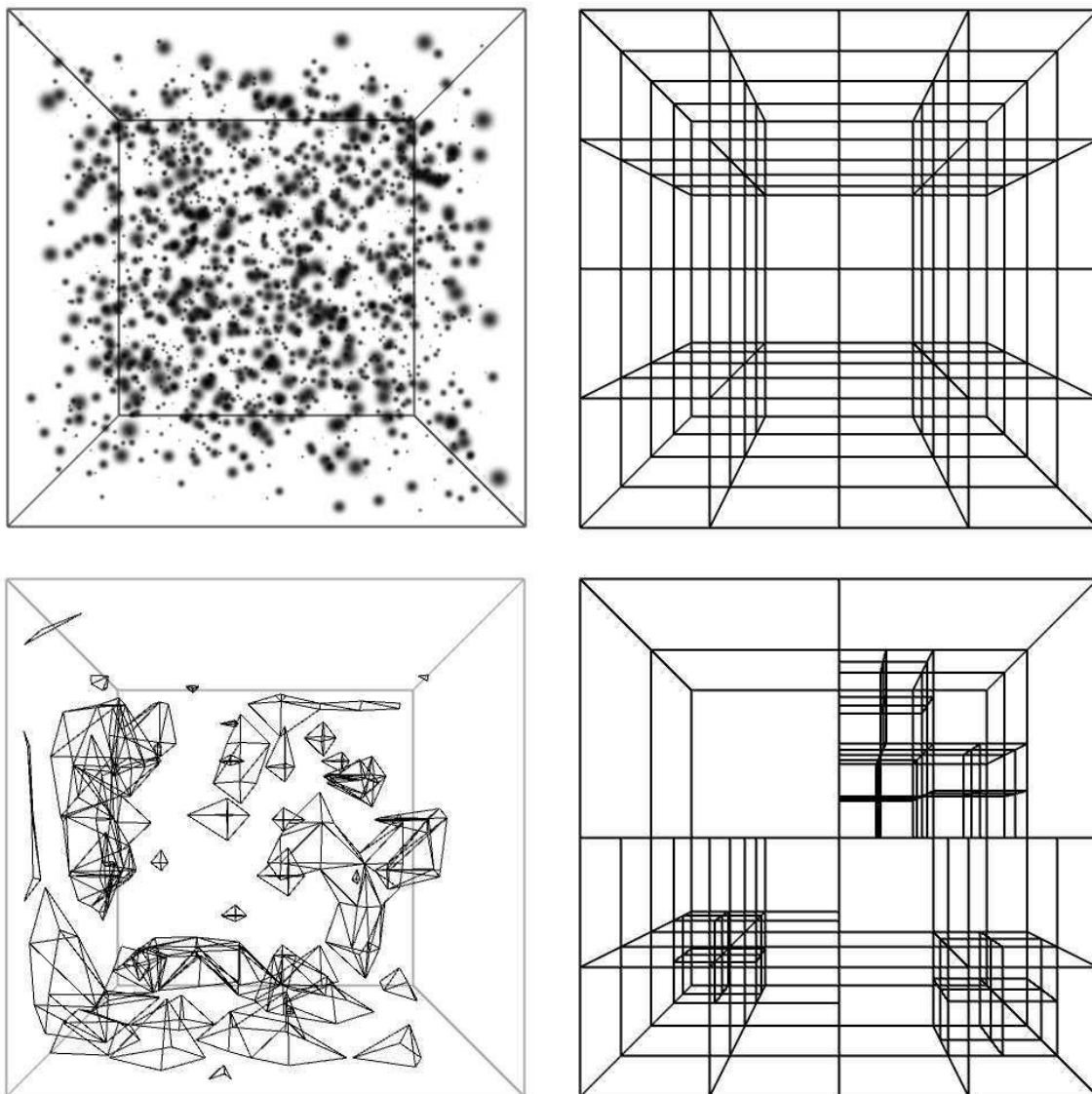
Los distintos mecanismos de producción de datos inciden en la elección de las técnicas para la visualización de los mismos y, por ende, de los programas utilizados para la elaboración de tales representaciones visuales. Hassan & Fluke (2011)

establecen dos clasificaciones para la representación de datos tanto observacionales, como simulados.



[FIG. V.23] ESQUEMA DE CLASIFICACIÓN DE BASES DE DATOS OBSERVACIONALES Y DE DATOS SIMULADOS.

La primera contempla: datos de imágenes bidimensionales de una longitud de onda particular; catálogos que incluyen parámetros, como coordenadas o tamaños, inferidos a partir del procesamiento de las mismas; datos espectroscópicos unidimensionales y tridimensionales, es decir, información obtenida del corrimiento hacia el rojo y de la composición química de las fuentes; observaciones de fenómenos astrofísicos transitorios como objetos variables en escalas de tiempo humana, obtenidos de catálogos sinópticos; y, datos de simulaciones numéricas que involucran propiedades, tales como la velocidad, la masa, la densidad y la temperatura de las partículas, logradas a través de una instantánea de la simulación. La segunda clasificación considera: datos constituidos por grupos de puntos distribuidos espacialmente, asociados a atributos físicos como la densidad, la presión y la temperatura; una grilla estructurada donde los valores de los datos son desplegados en 3D con celdas alineadas en ejes perpendiculares; otra grilla, desestructurada, que muestra los valores de los datos en 2D o 3D, interconectados; y, por último, una grilla adaptable, donde dichos valores son especificados en una cuadrícula estructurada con múltiples resoluciones, o sea, incluyendo sub-grillas superpuestas que permiten aumentar la definición de la misma.



[FIG. V.24] GRÁFICOS DE LOS DIFERENTES MÉTODOS EMPLEADOS PARA LA REPRESENTACIÓN VISUAL DE DATOS SIMULADOS TRIDIMENSIONALMENTE.

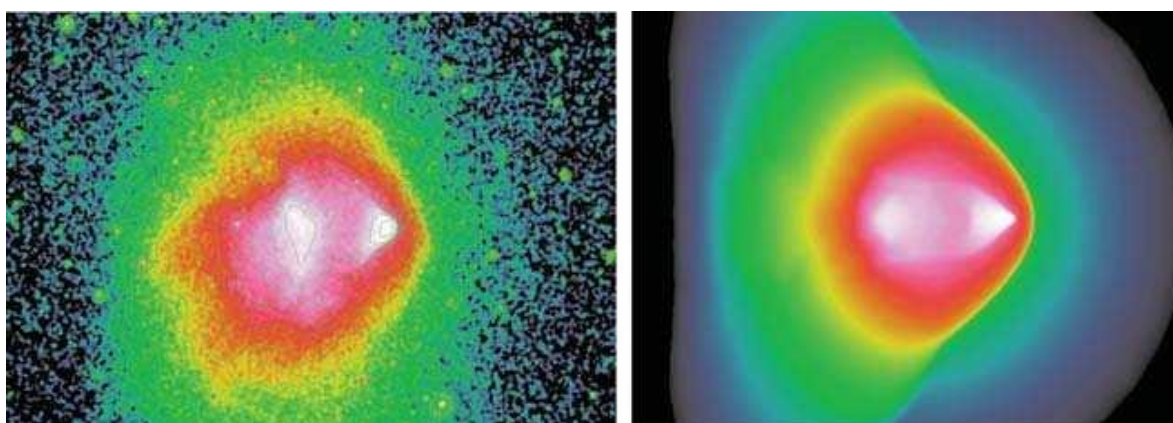
V.20 Cambios de representaciones visuales en cosmología observacional

Como se mencionó antes, en otro apartado, un caso paradigmático en cosmología observacional es el *Bullet Cluster*, el cual ofrece la evidencia más contundente de la existencia de la materia oscura en el universo. El contexto de su descubrimiento estuvo impregnado por la interrelación y el cambio entre diferentes representaciones visuales de datos, logradas tanto por la vía observacional como por aquella proveniente de las

simulaciones. Este objeto astronómico es uno de los cúmulos de galaxias más calientes y luminosos en rayos X; el mismo fue descubierto por Tucker, Tananbaum y Remillard (1995) a partir de las observaciones obtenidas con el telescopio espacial *Chandra*. Este cúmulo está formado por la interacción entre dos sistemas de galaxias en colisión y su fusión estaría dada en el plano del cielo, donde el sistema de menor masa habría atravesado el núcleo del sistema principal (Barrena et al., 2002; Markevitch et al., 2002). Las observaciones en rayos X revelaron la presencia de una subestructura con morfología de bala, relativamente fría, saliendo del núcleo de la componente principal a una velocidad de 4.500 km/s, generando una prominente onda de choque (Markevitch et al., 2002). Los análisis de lentes gravitacionales débiles del Cúmulo Bala mostraron que el potencial gravitatorio no traza la distribución del plasma, sino que sigue aproximadamente la distribución de las galaxias (Clowe et al., 2006). La discrepancia entre el centro de masa total y el centro de masa de materia ordinaria (bariónica) posee un cierto nivel de significancia, lo cual evidencia que la mayor parte de la materia en este sistema no es observable.

Con el fin de testear el modelo cosmológico estándar (Λ CDM) se analizó la probabilidad de encontrar un sistema con las características del *Bullet Cluster* en simulaciones computacionales. Existe un amplio debate en cuanto a si estos sistemas serían viables en un escenario descrito por el modelo Λ CDM. Una serie de estudios concluye que la velocidad observada descrita por la segunda componente no sería compatible con este modelo cosmológico (Markevitch et al., 2002; Springel & Farrar, 2007). Aun teniendo en cuenta que la velocidad de la materia es de ~ 2.600 km/s (Milosavljević et al., 2007), sería menor a la del plasma. Así, algunos trabajos concluyen que un modelo Λ CDM no sería capaz de crear este tipo de sistemas (Lee & Komatsu, 2010; Thompson & Nagamine, 2012). Sin embargo, análisis recientes utilizando grandes simulaciones cosmológicas encontraron que objetos como el cúmulo en cuestión no serían casos excepcionales (Hayashi & White, 2006; Thompson & Nagamine, 2012; Watson et al., 2014). Thompson & Nagamine (2012) concluyen en que deberían utilizarse simulaciones con un volumen de gran resolución para poder observar este tipo de objetos.

Más allá del tecnicismo, es claro el inter-juego entre simulaciones, observaciones y representaciones visuales que dan lugar a la confirmación del modelo cosmológico estándar. En otras palabras, y siguiendo cierto orden cronológico, durante el descubrimiento observacional del *Bullet Cluster*, en los modelos de simulaciones cosmológicas de esa época (implementaciones de los códigos GADGET y GADGET-1, por ejemplo) (Springel et al., 2001) no se habían reconocido visualmente fenómenos semejantes. Luego, a partir de las observaciones posteriores, las cuales revelaron la velocidad de los sistemas de galaxias interactuantes, se corrieron nuevas simulaciones (GADGET-2) (Springel et al., 2005) a fin de poder visualizar fenómenos similares y, consecuentemente, se hallaron. Parecería obvio pensar que aquí se observa lo que se ciertamente ya se conoce. No obstante, al margen de este reconocimiento, los resultados arrojados por estas últimas simulaciones sugieren que las velocidades estimadas por las observaciones se hallan sobrevaluadas. Así, al corregirlas, el *feedback* entre las dos vías epistémicas permitió una dinámica virtuosa a través de la elaboración y, fundamentalmente, del cambio de representaciones visuales entre ambos dominios y de su recíproca validación.



[FIG. V.25] IMAGEN EN RAYOS X (CHANDRA), BRILLO SUPERFICIAL DEL BULLET CLUSTER (IZQUIERDA). SIMULACIÓN A LA MISMA ESCALA Y DE SIMILAR RANGO DINÁMICO EN EL ESQUEMA DE COLORES (DERECHA).

Al explorar la extensa literatura sobre visualización en el ámbito de la astrofísica es posible distinguir, en un contexto de descubrimiento dado, las funciones que

cumplen la visión, la visualización y la representación visual, tanto humana como computacional. Ante la inviabilidad de poder separar, tajantemente, entre los distintos aspectos de cada proceso, e incluso de cada sistema, es factible establecer una ponderación entre estos planos conceptualmente diferentes. En consecuencia, se ha intentado mostrar aquí que los cambios de representaciones visuales dados, tanto en las observaciones como en las simulaciones, ofrecen los indicios que posibilitan la resolución de un problema cosmológico concreto, a saber: la conformación de la evidencia más contundente hasta ahora de la materia oscura.

Más allá de la constitución de este soporte evidencial, dichos cambios además permiten destacar rasgos cualitativos y cuantitativos inherentes a los procesos tanto cognitivos como computacionales, respectivamente. Al contrastar las representaciones visuales de los resultados observacionales con aquéllas de las soluciones numéricas, este análisis provee dos formas de validación externa: una cualitativa del modelo de simulación empleado y otra cuantitativa de las observaciones. Esto genera una retroalimentación entre ambas dinámicas de valoración, donde “medir” no sólo es cuantificar la información disponible, adquirida por una u otra vía, sino que es compararla cualitativamente.

Conclusión

En su conferencia, presentada en la Universidad Nacional de Córdoba, Hacking (2007) comienza aludiendo a las intrincadas relaciones entre las ciencias, la filosofía, la naturaleza y la búsqueda de la verdad. En tal disertación se refirió, de alguna u otra manera, a lo que los filósofos de las ciencias de la actualidad no se están ocupando. Él evoca una imagen que llamó notoriamente su atención, la cual representa una combinación de las diosas egipcia (Isis) y griega (Artemisa) donde un hombre (desnudo con una lira) se haya quitándole el velo y, a sus pies, atesora un volumen del tratado de Goethe sobre *La Metamorfosis de las Plantas*. Este gravado fue utilizado por von Humboldt en su *Geografía de las Plantas*, el cual fue publicado a principios del siglo XIX. A partir de los viajes por el mundo de este naturalista, como así también de las exploraciones de Darwin, se cambió radicalmente la manera de comprender la naturaleza de la vida. Aunque Hacking no haga referencia alguna, esta obra no sólo fue significativa para Goethe, sino que además influyó notablemente en el ensayo filosófico y cosmológico *Eureka*, escrito por Poe (1848) como un poema en prosa. De todos modos, Goethe aludió a que tal ilustración refleja el hecho de que el velo de la naturaleza puede ser retirado a través de la poesía. Hacking menciona que esta última acción fue, por varias décadas, lo que inspiró a Hadot (2004) a fin de llevar a cabo su obra. Esta última sostiene, como idea fundamental, que la naturaleza posee secretos que son revelados mediante diferentes medios, los cuales también incluyen, obviamente, los descubrimientos proporcionados por las ciencias. Según Hacking, dado que en la actualidad los filósofos de las ciencias abordan campos particulares de éstas, resulta necesario repensar aquellos vínculos que dichos ámbitos guardan con la naturaleza en sí. Ello obliga a cuestionar el significado de la misma. Así, este autor explora los primeros experimentalistas tales como Robert Boyle, quien a finales del siglo XVII, halló significados distintos para el término naturaleza. Una de estas acepciones contiene la idea de que la propia naturaleza está ligada a la concepción que se tiene de ella. En este sentido, la naturaleza puede ser caracterizada de una manera antropológica con cualidades, tanto positivas como negativas; asimismo, sus fuerzas superan a las de los seres humanos, siendo éstos parte de ella.

Parafraseando a Hadot, Hacking considera que la naturaleza además de tener secretos es escurridiza y tiende a ocultarse. Más allá del ejemplo de física experimental que este último autor menciona y, a los propósitos aquí presentes, podría considerarse de forma análoga que la naturaleza del universo observable presenta secretos que siguen ocultos en la actualidad astronómica y cosmológica, tales como las exóticas materia y energía “oscuras”. De esta manera, algunas propiedades de la naturaleza del cosmos han permanecido escondidas y se han escabullido, en el primer caso por más de ochenta años, mientras que en el segundo por más de veinte. Hacking comenta, siguiendo a Hadot, que al considerarse la evolución que ha tenido la noción de *physis* griega al concepto de física moderna, puede esclarecerse la bifurcación en la caracterización de la naturaleza. Esto significa que, tanto en el mundo antiguo como en el actual, la “naturaleza de” los fenómenos tiene en cuenta los procesos asociados tanto a su génesis, como a las apariencias que éstos presentan. El otro sentido de la separación representa la misma constitución o la “propia naturaleza” de los objetos manifestados. Esto condujo al desarrollo de diferentes doctrinas filosóficas sobre la “esencia” en la antigüedad, las cuales no han sido compartidas por la ciencia contemporánea. En otras palabras, las clases naturales son así estipuladas en base tanto a cualidades, atributos o propiedades intrínsecas, como extrínsecas. No obstante, cuando la naturaleza es personificada, recién es cuando se comienza a hablar de sus secretos. Según Hacking, es en esta dirección cuando la naturaleza puede concebirse como políticamente viva, es decir, cuando las personas se preocupan de los usos de la tecnología para destruirla.

Desde la perspectiva de Hadot, hay dos maneras de abordar la naturaleza: una actitud prometeica (*Promethean*) y otra órfica (*Orphic*). Más allá de lo anecdótico del caso, la idea por detrás de la primera consiste en que los secretos de la misma deben ser extraídos, inicialmente, no sólo de la experiencia del laboratorio, sino a partir de las leyes que la gobiernan. La ciencia actual se basa, astutamente, en el empleo de una variedad de procedimientos y de técnicas que permiten descubrir su velo a fin de dominarla a través de su intervención. Todo lo producido por la tecnología es considerado artificial; sin embargo, para superar las dificultades que presenta la naturaleza se requieren de diversos artificios y artilugios como aquéllos provistos por la

mecánica clásica, o bien, por la moderna. El empleo de dichas prácticas engaña a la misma, permitiendo develar sus secretos. Por otro lado, la segunda actitud es la poética, la cual consiste en escudriñar armoniosamente los secretos de ésta mediante la contemplación y no de manera violenta, o sea, sin intervenirla. Según Hacking, si bien esta perspectiva es la aceptada por Goethe, el mismo se hallaba impregnado de la mayoría de los conocimientos científicos de esa época. No obstante, este último rechazaba de raíz la postura intrusiva de Newton al torturar la luz con un prisma y separarla en colores, por ejemplo. Esta línea de pensamiento consideraba que, aunque la naturaleza posea sus secretos, los mismos no están velados sino que son los ojos de ciertas personas los que se hallan cegados ante lo que ella muestra abiertamente. Así, todos sus atributos intrínsecos son también extrínsecos, es decir, sus aspectos internos y externos son uno solo ante aquéllos que sí pueden percatarse mediante tal actitud. Sin embargo, Hacking sostiene que el contraste entre ambas posturas (prometeica y órfica, por decirlo de algún modo) ha sido el inicio de una falta de comprensión entre la cultura científica y la cultura humanista, de forma similar al eventual conflicto entre las imágenes propuestas por Sellars, planteadas en la introducción. Aun así, la idea de Hadot a la cual Hacking se refiere es consistente con la postura filosófica de este último autor. La misma alude a que los seres humanos son por naturaleza experimentadores, es decir, siempre intentan interferir y modificar los fenómenos del mundo físico. Pero, además las personas también experimentan y se asombran al contemplar la belleza del reino natural que se manifiesta ante ellas. Estos aspectos, propiamente humanos, conforman también los secretos de la naturaleza y, de acuerdo a estos autores, lo ideal sería entablar los puentes necesarios que conecten tales actitudes. El reconocimiento de ambas partes de la naturaleza es crucial, como lo es así la valoración tanto de los engaños del experimentador, como la fascinación a través de una experiencia observacional. En las últimas líneas de su exposición, Hacking afirma que aquellos que llevan a cabo modelos matemáticos de diversos ámbitos de la naturaleza, empleando trucos para alterarla a fin de entenderla y poder controlarla, poseen una manera certera de revelar sus secretos. Como se ha desarrollado en el tercer capítulo, si bien una observación astronómica puede llevarse a cabo a partir de modelos de simulaciones computacionales, a través de artimañas numéricas sofisticadas, puede lograrse cierta

experimentación no rigurosa. Pese a esto, la astronomía observacional tradicional parece quedar relegada al ámbito de la contemplación, asumiendo una actitud estrictamente pasiva. En lo que aquí respecta, considerando algunas de las críticas realizadas en las primeras secciones del último capítulo, cabe repensar qué lugar ocupa la astronomía como ciencia natural en el pensamiento de Hacking. No obstante, un aspecto ampliamente válido es que este último reivindica un enriquecimiento mutuo entre ambas maneras de abordar la naturaleza. Como se analizará a continuación, esta dialéctica es influyente en la morfología.

Los fundamentos del método morfológico propuesto por Zwicky se basan, aunque él no lo explicita, en la filosofía natural de Goethe. Dado que en la época del goetheanismo esta doctrina era considerada por la ciencia como una aberración del pensamiento, no fue sino hasta la década de los treinta del siglo pasado que Zwicky reintrodujo la morfología como un método para la comprensión, aplicable a una variedad de disciplinas científicas. Rudnicki (1989) sostiene que, a partir de una serie de aforismos sobre el entendimiento humano, Goethe sentó los cimientos a partir de los cuales se apoyan los principios de una nueva teoría del conocimiento, diferente a aquéllas basadas en la epistemología kantiana. Estas últimas diferencian entre el pensamiento puramente subjetivo y las percepciones, las cuales poseen un origen objetivo, aunque relativamente independiente al agente epistémico, ya que se dan a través de su constitución fisiológica. No obstante, las interacciones entre ambas posibilitan el proceso necesario para una cognición indirecta de *la cosa en sí*, la cual es inaccesible de forma directa. De esta manera, hay interpretaciones que llegan a conclusiones radicalmente opuestas, es decir, algunas sostienen que la *esencia* de las cosas es incognoscible, y otras que afirman que sí puede accederse a ella, de alguna manera, a través de los fenómenos. Como se desarrolló al principio del último apartado del quinto capítulo, los modelos de datos de una disciplina particular también pueden ser considerados como patrones de técnicas y procedimientos científicos que no contemplan su justificación, permitiendo el acceso epistémico a través de dichos fenómenos. En este sentido, el criterio de elección empleado es pragmático y más acorde a una verdad aproximada y flexible, lejos de una verdad rígida y absoluta. Rudnicki asevera que, según el esquema goetheano, la teoría del conocimiento no

debe fundamentarse en los datos de disciplinas científicas particulares, sino que la misma debe antecederlas. Así, las bases de una epistemología son, por naturaleza, pre-científicas. Esta perspectiva sugiere, a modo de experimento pensado, abandonar momentáneamente todos los conocimientos adquiridos a la hora de explorar los procesos cognitivos involucrados, tales como la variedad de percepciones comprometidas. De esta manera, surge la necesidad de asociar aspectos comunes entre ellas a fin identificarlas y así poder comprenderlas. Rudnicki sostiene que es imposible lograr una descripción completa de los procesos cognitivos; si bien, este enfoque no distingue entre percepciones y pensamientos, no quita que estos últimos posean rasgos característicos que los diferencien de otros tipos de percepciones. La ansiedad cognitiva provocada por aquellas percepciones que no tienen explicación es satisfecha cuando se logra asociar las mismas a una serie particular de pensamientos relevantes. Estos últimos poseen la cualidad de ser subjetivos y objetivos a la vez, en tanto fluyen libremente en un acto de cognición particular y en tanto se vinculan de una determinada manera conforme a su propia naturaleza, respectivamente. Así, la objetividad es alcanzada por la intersubjetividad del mismo proceso; siguiendo a este autor, la agrupación de dos o más pensamientos es una clase de revelación. A diferencia del kantismo, esta perspectiva no distingue entre las investigaciones realizadas por las ciencias exactas, naturales y humanas, ya que éstas abordan tanto pensamientos abstractos e idealizaciones, como aquellas percepciones ligadas al mundo concreto.

Según Rudnicki, los pensamientos más simples, ya sean nociones o conceptos, están sujetos y pueden describirse a partir de una lógica proposicional básica más otra de primer orden. De esta manera, tales pensamientos pueden explicar la mayoría de las percepciones en el dominio de los fenómenos físicos. No obstante, al considerarse pensamientos más sofisticados se introduce, de acuerdo a él, a un ámbito más elevado: el de las ideas. Ellas son asociaciones complejas de nociones, las cuales sufren una considerable metamorfosis. En este sentido, a los intereses aquí presentes, podría considerarse a la observación más que un concepto, una idea que abarca interrelaciones entre una serie de nociones tales como experimento, medición, inferencia, evidencia, información, modelo y representación visual de datos, entre otras.

Aunque este planteamiento pertenezca a un meta-nivel de análisis, resulta apropiado en el nivel metodológico tanto de la astronomía, como de la cosmología observacional contemporánea. Por otra parte, este autor sostiene que un pensamiento “verdadero” sobre una propiedad de un objeto físico particular, a través de abstracciones matemáticas o teóricas, no es menos objetivo que aquél pensamiento más concreto logrado a partir de las percepciones sensibles de tal cualidad. Estas idealizaciones, a diferencia de los productos de la imaginación, poseen un alto nivel de intersubjetividad. Él afirma que la posibilidad de pensar sobre algún atributo de un fenómeno dado, más allá de una mera elucubración, conlleva a la adquisición de cierto conocimiento sobre el mismo. En consecuencia, no hay *cosa en sí* que no pueda ser accedida y, por ende, conocida. Así, Rudnicki asevera que, si fuera imposible pensar la *esencia* de los objetos, se debería admitir una eventual contradicción al pensar en algo que no puede pensarse. De acuerdo a este autor, los resultados arrojados tanto por los instrumentos tradicionales de observación como por los variados dispositivos computacionales, y sus respectivas lecturas, deben ser considerados percepciones. En este punto, cabe destacar la diferencia entre percepciones naturales y percepciones artificiales; más precisamente, entre los sistemas sensoriales y los procesos cognitivos asociados (la visión y la visualización humana, entre otros), y los aparatos artificiales junto con los mecanismos computacionales involucrados (la visión y la visualización computacional, por ejemplo). De esta manera, el sujeto cognoscente obtiene información objetiva de los eventos físicos que acontecen en el mundo, independientemente del grado de permeabilidad que tenga con respecto a uno u otro proceso perceptual. En palabras de este autor, los pensamientos se adaptan y moldean conforme a una situación de observación mediante percepciones que pueden ser particularmente distintas. Esto significa que hay grados de libertad para la asociación de ideas, siempre y cuando la misma responda a pensamientos apropiados y no a quimeras. En consecuencia, pueden darse múltiples interpretaciones de los datos, las cuales conducen a percepciones ligeramente diferentes, aunque correctas. Un ejemplo paradigmático es el estudio de caso del geocentrismo y del heliocentrismo a lo largo de la historia de la ciencia. Por otro lado, Rudnicki postula que parte de la labor científica consiste en reducir las percepciones de fenómenos complejos a percepciones de fenómenos

simples, independientemente de que éstas últimas pertenezcan, o no, al dominio del sensorio humano. Llevar a cabo este tipo de reducción representa para los goetheanistas, como Zwicky, el objetivo principal de la investigación científica.

El enfoque, presentado anteriormente, tiene implicancias metodológicas cruciales. La generación de hipótesis individuales posee una preponderancia bien marcada en las investigaciones actuales, las cuales establecen predicciones observacionales/experimentales que posibilitan un espacio de instancias confirmatorias de tales hipótesis. Así, si los hechos las contradicen, el científico debe recurrir a un nuevo parámetro que las explique de forma alternativa, o bien, debe descartarlas dada la falsedad de las mismas. Según el esquema zwickyano, cualquier mecanismo de generación de hipótesis no debe seguir regla alguna. En su aproximación morfológica, Zwicky (1948, 1957) sugiere considerar en primera instancia la “forma” del problema bajo investigación; para ello es necesario atender tanto a las situaciones observacionales dadas, como a los interrogantes planteados y a los objetivos prácticos establecidos para su eventual resolución. El hecho de que se torne imprescindible delimitar el dominio de la indagación se debe a la imposibilidad de abarcar un ámbito de fenómenos en su totalidad. Asimismo, la complejidad se manifiesta en las interconexiones entre la diversidad de objetos, propiedades y procesos físicos involucrados. En este sentido, los grados de evidencia disponible sugieren tratamientos teóricos variados, los cuales serán empleados según su adecuación empírica. En ocasiones, dicho soporte evidencial conlleva a la postulación de nuevas entidades y a la aceptación de inobservables, o bien, a la reformulación de ciertos parámetros físicos estipulados por las teorías. De esta manera, Zwicky resalta la necesidad de afrontar los problemas desde el comienzo, a fin de evitar cualquier sesgo o influencia que sub-determine y obstaculice la resolución de los mismos. Él menciona, según Rudnicki, que ocasionalmente debe recurrirse al método de negación y de construcción para evaluar los puntos de vista alternativos y lo que ellos podrían aportar a la investigación. Los mismos también podrían sugerir patrones, pistas o indicios de nuevas búsquedas para futuros estudios a realizarse dentro de la demarcación de dicho problema. El tratamiento preliminar de este último es clave a la hora de efectuar una aproximación morfológica. Sin embargo, este enfoque fue subestimado en la época cuando Zwicky lo

planteó; aun así, su aceptación no se dio sino hasta que su efectividad se hizo plausible, es decir, al vislumbrar la “forma” del problema en cuestión pudo llevarse a cabo, a través de una caja morfológica efectiva, una representación adecuada del mismo. Aunque esta matriz es fundamental al momento de establecer una aproximación confiable, la misma no es más que un algoritmo. No obstante, si bien este último puede ser considerado un procedimiento formal, se halla impregnado y es guiado por rasgos propios del pensamiento goetheano. Siguiendo a Zwicky, cuando la percepción de un problema es lo suficientemente clara, la forma de éste puede ser descrita a partir de una serie de parámetros individuales, interrelacionados. Como se desarrolló en detalle en los apartados finales del cuarto capítulo, la parametrización de un fenómeno astrofísico complejo en una caja morfológica es además una representación visual de la sofisticación involucrada en la observación del mismo. Dicha representación puede constar de una variedad de formas, esto es, la matriz puede ser diseñada en función de un espacio de problemas dado y puede ser visualmente accedida por el agente epistémico. Tanto la selección de los parámetros como la asignación de valores correspondientes a las variables asociadas a éstos, es fundamental. Contrariamente, si la visibilidad del problema bajo investigación es difusa, tal selección y ajuste resulta erróneo y, por ende, no será factible la identificación y el reconocimiento de nuevos patrones. Según Rudnicki, la caja morfológica es un espacio de parametrización multidimensional, la cual permite no sólo relacionar los valores posibles de cada variable, sino interrelacionarlos con aquellos de otros parámetros próximos, causalmente conectados, presentes en la matriz. Además, con esta última pueden establecerse diferentes correlaciones entre parámetros distantes, cuyos vínculos causales permanecen ocultos y son desconocidos hasta ese momento. De esta manera, cada relación o correlación identificada en la representación visual de la caja, ayuda a definir patrones observacionales para la resolución de problemas. En tal caso, esta resolución consiste en una eventual explicación, de muchas otras, del fenómeno en cuestión, a la luz de una o de varias teorías y modelos físicos involucrados. Así, la sofisticación del entramado procesual en una observación astronómica puede ser esclarecida a partir del reconocimiento de pistas e indicios que, al conducir a un ámbito de generación de hipótesis, ocasionalmente conlleva al

descubrimiento de una propiedad. Los parámetros que conforman la matriz pueden ser continuos, o bien, discretos. Esto significa, en el primer caso, que los valores de las variables consideradas pueden ser descriptas en el marco explicativo de una teoría en particular; mientras que, en el segundo caso, ciertos parámetros requieren de interpretaciones alternativas, es decir, aceptando otros contextos que los justifiquen. Sin embargo, ambos casos pueden conjugarse a la hora de establecer correlaciones. De esta manera, no es común que una caja morfológica esté conformada sólo por puntos discretos, sino que, en un gran número de casos, la parametrización es continua. Rudnicki sostiene que, a los fines prácticos, el método morfológico origina una variedad de dominios, los cuales son aproximaciones certeras y confiables que incluyen hipótesis diversas, delimitando el espacio de búsquedas heurísticas. Estas últimas guían a la obtención de resultados cualitativos, lejos de ser absolutamente inequívocos. Este es una de las críticas más importantes que se le hace a este método que intenta develar los secretos de la naturaleza, mediante aproximaciones. De todos modos, en ámbitos donde la intervención no puede llevarse a cabo de manera estricta, tales como en la astronomía y en la cosmología observacional, este tipo de enfoque resulta apropiado. Desde esta perspectiva, la búsqueda de la certeza total es inalcanzable. Toda aproximación no es más que una representación del mundo físico, determinada conforme a la formulación particular del problema. De acuerdo a Zwicky, una aproximación determinada, al enmarcarse dentro de un fragmento de la naturaleza, debería ser testeada observacionalmente hasta el extremo. Esto quiere decir que el problema original es redefinido por otra aproximación, la cual es también chequeada, resultando así en una secuencia iterativa donde ninguna de ellas es definitiva.

Lutz (1989) sostiene que la postulación de una liberación de prejuicios epistémicos es un principio fundamental del método morfológico de Zwicky. La importancia de este principio radica en el hecho de que, por un lado, un investigador principiante se encuentra atado a la concepción heredada proveniente de una tradición científica particular. Por otro lado, se debe también a que los científicos más experimentados, que se han comprometido al adoptar los valores e ideologías de una corriente específica, son propensos a llevar a cabo investigaciones sesgadas y, por ende, obstaculizadas. Dado que dicha liberación es un prerequisite del pensamiento, el

cual es en principio subjetivo, cabe cuestionar cuál es su alcance y grado de generalidad. Como se mencionó antes, aunque cierta objetividad de los procesos cognitivos es lograda a través del pensamiento intersubjetivo, esto no niega la naturaleza subjetiva del pensamiento y de sus prejuicios. Así, este último trasciende todas las nociones, ya que es *a priori* de cualquier concepto, y establece vínculos entre éstas y ciertas percepciones, dando lugar a la asociación de ideas. Como se aludió previamente, hay percepciones que, si bien se corresponden a propiedades de objetos físicos, no son dadas mediante el sensorio humano, sino a partir de la actividad cognitiva. De esta manera, Lutz afirma que nuevos atributos pueden ser percibidos, descubriendo cualidades tanto intrínsecas como extrínsecas (primarias y secundarias) de los fenómenos investigados. En este sentido, el proceso cognoscitivo se nutre de un pensamiento abstracto e idealizado y de otro perceptual más concreto, develando así diferentes aspectos de los procesos cognitivos involucrados. Cuando el sujeto epistémico describe los procedimientos que lo han guiado en su investigación, identificando y dejando de lado todos los prejuicios subyacentes, la delimitación del problema resulta clara y, por lo tanto, la aproximación lograda permite la resolución efectiva del mismo. La relación sujeto-objeto se encuentra mediada por un gran número de instrumentos (naturales y artificiales) comprendidos en un hecho observacional. Este autor asevera que la imagen mental lograda a partir de la impresión sensorial de un fenómeno dado está condicionada por el diseño del sistema perceptual. Al considerarse un proceso observacional sofisticado, la representación (visual, por ejemplo) de un objeto, o de alguna de sus magnitudes físicas, también se presenta ante los sentidos. Este acceso epistémico genera una imagen aproximada, la cual además depende ampliamente del grado y de la clase de intermediarios involucrados, es decir, de la arquitectura de tal proceso. Siguiendo el enfoque zwickyano, la relación sujeto-objeto es un continuo, o sea, no hay una línea de demarcación tajante que los separe como en los enfoques dualistas. En este sentido, tanto el sujeto cognoscente como el fenómeno observado y sus respectivos intermediadores conforman la misma naturaleza, diluyendo paulatinamente dicho vínculo. Por otra parte, según Lutz, existe una región intermedia entre los pensamientos abstractos y los concretos, es decir, entre la teoría y la observación. Esta área se corresponde a la de la experiencia del agente epistémico, la

cual es denominada *la apariencia de los sentidos* (Steiner, 1886). Dicha región sugiere un ámbito de fenómenos en los cuales se basa el conocimiento adquirido a partir del pensamiento adherido a una dialéctica entre la teoría y la observación.

Dado que es del sentido común filosófico sostener que la observación está cargada o, de algún modo, impregnada de teoría, la mayoría de estos argumentos ponen el pensamiento al servicio ésta. No obstante, Lutz sostiene, abogando a favor de la posibilidad de observaciones puras o pre-teóricas, que el pensamiento morfológico se halla reservado, inicialmente, a una cosmovisión o concepción del mundo (*Weltanschauung*) y no atado a una imagen científica ni al rigor de sus teorías. De acuerdo a este autor, el entendimiento humano se devela a sí mismo, como la arena o el terreno del conocimiento, a partir de la propia observación del acto de pensamiento y de percepción de un agente determinado. Con esto último, se establece en este escrito un puente que une un nivel con un meta-nivel de análisis, es decir, conectando un plano metodológico con otro epistemológico. A diferencia del planteo de Lutz, el cual asevera que sólo puede observarse un pensamiento netamente personal y subjetivo, a través del método morfológico de Zwicky pueden, en dichos niveles, observarse las observaciones (astrofísicas, por ejemplo), identificándolas y clasificándolas para luego reconocer invariantes y características comunes entre ellas. Esta objetivación de las observaciones permite conocer los prejuicios metodológicos y preconceptos epistémicos que impregnan a las mismas. Lejos de ser algún tipo de experimento pensado, al observarse lo que observa un observador, es posible explorar entre una diversidad de aproximaciones que arrojan diferentes resultados, los cuales son patrones observacionales que pueden ser reconocidos por el agente epistémico. El enfoque morfológico zwickyano caracteriza de esta manera un dominio de conocimientos desprejuiciados, nutriendo justamente un ámbito tanto metodológico de investigación, como así también de reflexión epistemológica. En lo que sigue, se hará una recapitulación con los tópicos planteados más importantes, a fin de aplicar el método morfológico de Zwicky en la trama conceptual que subyace en la misma noción de observación.

A continuación, se presentará una breve descripción de cada uno de los capítulos y apartados correspondientes a esta tesis. En el primer capítulo “La

observación astronómica contemporánea y sus instrumentos” se exploró, desde un abordaje histórico, el desarrollo de las diferentes prácticas observacionales y la evolución de las mismas, desde las últimas décadas hasta la actualidad. El objetivo de este capítulo ha sido introducir al lector en un contexto tecno-científico a fin de proporcionarle un marco aproximativo inherente a la diversidad de técnicas observacionales empleadas para la identificación, clasificación y estudio de propiedades asociadas a la multiplicidad de objetos astronómicos observados. En esta dirección, se trató de dar una caracterización general de cuáles son y cómo se conforman los requisitos, estipulaciones y condiciones que configuran los diferentes hechos y situaciones observacionales. Así, a los fines de responder la pregunta ¿qué se considera en la actualidad una observación astronómica?, se puso énfasis en la articulación entre las distintas astronomías basadas en la naturaleza electromagnética de la luz, como así también su integración con aquéllas fundadas en otras teorías físicas fundamentales. Además, al introducirse el concepto de observatorio se lo entendió no sólo como un reservorio de instrumentos, aparatos y datos observacionales, sino también como una confluencia de componentes variados definidos por la Unión Astronómica Internacional (IAU). Entre algunos de estos últimos, se han notado tanto aspectos epistémicos como roles normativos e idiosincráticos relevantes, relacionados a diferentes comunidades y tradiciones científicas en este ámbito disciplinar. De esta manera, en este capítulo, se analizaron los instrumentos vigentes, tanto terrestres como espaciales (los cuales fueron mencionados reiteradamente a lo largo de los capítulos siguientes), como la conformación, disponibilidad e integración modular de grandes bases de datos, necesarios para la producción, registro y evaluación del conocimiento astronómico.

En el segundo capítulo “Auxiliares informáticos de la observación astronómica” se ha proporcionado una caracterización sistemática del instrumental vigente mostrando la fuerte dependencia de las prácticas y las técnicas observacionales con respecto al diseño de los aparatos actuales. El objetivo del mismo consistió en insertar al lector en un entorno multi-instrumental desplegando la variedad de sistemas informáticos de observación más recientes en la astronomía. La sofisticación de tales sistemas, debido al desarrollo y a los adelantos tecnológicos del instrumental, sugiere

un alejamiento de la visualización humana en el proceso observacional. Sin embargo, se ha sostenido que tal distanciamiento es sólo aparente. Así, pese a la función mediadora que desempeñan los aparatos, accesorios y piezas de equipo entre el sujeto epistémico y los objetos de estudio, se rescató el rol activo del ojo humano en un proceso observacional complejo. En este contexto, se intentó establecer la importancia que poseen las representaciones visuales en la dinámica observacional proceso-producto. De esta manera, se atendió la relevancia de estas últimas en las fases de formación de la imagen astronómica y en la codificación de la señal luminosa para su accesibilidad epistémica, tanto en la etapa de adquisición, como en la de reducción de datos. Además, atendiendo al empleo de dichas representaciones, se desarrollaron los vínculos entre heurísticas, inferencias, generación de hipótesis, estándares y reconocimiento de patrones. De este modo, se estableció un contraste entre auxiliares computacionales que asisten a la observación, como capacidad de cálculo, y la visualización humana, como capacidad cognitiva. Asimismo, se atendió en este capítulo a la tensión existente entre cierto tipo de sistemas expertos y el “ojo” del experto en ciertas prácticas observacionales. También se consideraron aquellos programas informáticos que permiten tanto la automatización del sistema de observación como el diseño, a partir de un enfoque procedimental, de una observación astronómica severa. Además, se mencionaron algunas de las herramientas informáticas de uso más frecuente, indispensables para el procesamiento, análisis y reducción de datos.

Dada la relevancia de la computación en los laboratorios astronómicos, en el tercer capítulo “Simulaciones computacionales en la observación astronómica”, se ha mostrado el importante rol que ellas poseen en las prácticas más recientes. Para algunas tradiciones astronómicas, los modelos de simulación son meros auxiliares que intentan “reproducir” datos observables. Sin embargo, otras las sitúan en el mismo estatus o nivel epistémico que las observaciones convencionales. El objetivo principal de este capítulo ha sido investigar algunos rostros epistemológicos de tales simulaciones en los procesos observacionales más sofisticados; específicamente, exhibiendo la dinámica involucrada tanto en su construcción como en su validación externa y su empleo. De acuerdo a este análisis, se hizo hincapié en el hecho de que estos modelos tienen la capacidad de funcionar como instrumentos de investigación y

permiten la exploración tanto en el dominio de las teorías astrofísicas, como así también en el universo observable. A fin de rescatar aspectos propios de esta práctica en particular, se demostró además la dependencia de la misma con respecto a los sistemas informáticos referidos anteriormente. Para ello fue necesaria una indagación sobre los diversos diseños y configuraciones de *hardware* y *software* requeridos para el modelado computacional de variados fenómenos astrofísicos. En las últimas décadas, las simulaciones han evolucionado notablemente y han dejado de ser meras masticadoras de números para convertirse en herramientas insustituibles de la práctica observacional. En este sentido, otro de los roles más importantes ha tenido que ver con la función que poseen tales simulaciones con respecto a la obtención de determinadas mediciones de fenómenos astronómicos observados. Así, los modelos de simulación computacional suelen arrojar resultados medibles o cuantificables, los cuales son, eventualmente, contrastados con aquéllos obtenidos por la vía observacional clásica. Conforme a lo desarrollado al final del capítulo anterior, ha resultado necesario indagar también en la problemática actual inherente a la producción masiva de datos simulados y de su respectivo procesamiento. Además, se han intentado rescatar diferentes rasgos de una experimentación “débil”, situándola al servicio de esta clase de práctica observacional. Desde esta perspectiva, se ha considerado viable no sólo la intervención en el instrumental del sistema informático, en la implementación de códigos específicos y en los métodos numéricos de discretización, sino también en la manipulación de condiciones iniciales y de contorno en el modelado computacional.

En el cuarto capítulo “Conceptos de observación” se investigaron la mayoría de las caracterizaciones más relevantes que ha tenido esta noción desde la perspectiva de la filosofía de la ciencia clásica hasta la epistemología actual. A partir de la problemática en torno de la distinción tradicional entre la teoría y la observación, se analizaron diversos autores contemporáneos que mantienen desacuerdos significativos en sus tratamientos inherentes: a lo directo e indirecto de la observación, a las diferencias entre observables e inobservables, al contenido de los resultados y reportes observacionales, a los argumentos (a favor y en contra) de la carga teórica de la observación, entre otros. Así, se ha dado preponderancia a aquellos estudios más recientes, que intentan rescatar el importante rol de las prácticas científicas en sus

concepciones de la observación y de la experimentación no estricta. Ello ha permitido que el concepto de observación pueda ser abordado desde un enfoque dinámico, en términos de proceso y de producto, y que puedan también identificarse las diferentes fases y etapas, reconociendo la sofisticación de los sistemas observacionales astronómicos. En esta dirección, el objetivo principal de este capítulo consistió en mostrar, considerando lo desarrollado en las secciones anteriores, cuáles son las interrelaciones existentes entre las prácticas observacionales llevadas a cabo por los astrónomos, los instrumentos de observación empleados y cierto tipo de simulaciones computacionales que contribuyen estando al servicio de la observación, y no al revés. Específicamente, se demostró la dependencia de estas últimas con respecto a los aparatos vigentes y a los diseños multi-instrumentales. La mayoría de las posturas que intentan recuperar la relevancia de las técnicas en los procesos observacionales, lo hacen desde una perspectiva en particular. Esta última se halla fuertemente apuntalada en diferentes aspectos asociados a los procesos cognitivos que inciden en la actividad observacional. Aunque dichos procesos juegan un papel crucial en la dinámica proceso-producto, en este capítulo se mostró además que los mismos no son suficientes para establecer una caracterización apropiada de la observación. Así, al descuidar detalles que trascienden la subjetividad humana, resultó necesario dar una aproximación al ámbito de la objetividad, propia de los sistemas instrumentales. De esta manera, se tomó bajo consideración la opacidad epistémica involucrada en las diferentes etapas de la observación, las cuales incluyen instrumentos tradicionales como simulaciones computacionales. En este punto, se puso énfasis en cómo, a través de estas últimas, pueden lograrse observaciones. Por otra parte, en contraste, se otorgó una fuerte significatividad a las representaciones visuales como los únicos medios de accesibilidad epistémica tanto en la codificación de la señal luminosa, como en la validación de los modelos involucrados. De este modo, las fases de adquisición y de reducción de datos, presentes en la “cadena de observación astronómica”, exhibieron cierta permeabilidad de prácticas subjetivas como la vinculación de heurísticas con ciertos estándares y el reconocimiento de patrones. No obstante, también se concibió la existencia de capas impenetrables que restringen, visualmente, el acceso epistémico. Estas últimas se hallan determinadas tanto por la sofisticación de dichas simulaciones, como así también

por la automatización de los aparatos, accesorios y auxiliares informáticos de la observación.

En el quinto capítulo “Nociones afines a las prácticas observacionales” se consideró a la observación como un concepto significativamente ampliativo, el cual recoge diferentes rasgos característicos de la experimentación, la medición, la inferencia, la evidencia, la noción de información y el importante rol de las representaciones visuales en las prácticas más recientes de la astronomía observacional. El objetivo general de este capítulo consistió en analizar la sofisticación de dicho concepto, desglosando su dinámica (en términos de proceso y de producto) a partir de un cuerpo epistemológico coherente de interrelaciones e interdependencias conceptuales. Este último permitió abordar la complejidad de los procesos observacionales actuales, oscilando entre los dos extremos de la cadena de observación mencionada antes, es decir, desde el sujeto epistémico (a través de la diversidad de intermediadores) hasta el objeto de estudio, y viceversa. Al investigar el grado de permeabilidad de la subjetividad y la autonomía o relativa independencia de la objetividad en las variadas fases del proceso observacional, se retoma nuevamente la pregunta inicial planteada en primer capítulo: ¿qué se considera en la actualidad una observación astronómica? para rehacerla de la siguiente manera: ¿cuáles son los rostros epistemológicos de una observación astronómica actual? Específicamente, en primer lugar, dada la imposibilidad de llevar a cabo experimentos rigurosos en el ámbito de la astronomía, se consideró viable una experimentación no severa. Esta última hace referencia a prácticas interventivas no en el dominio de los fenómenos astronómicos, sino en el ámbito de los sistemas observacionales. Estos últimos incluyen tanto la multiplicidad de instrumentos, aparatos, accesorios y piezas de equipo, como así también la heterogeneidad de herramientas y auxiliares informáticos y computacionales (desarrollados en los capítulos dos y tres). De esta manera, se pretende caracterizar una noción de experimentación situándola al servicio de las prácticas observacionales. Como parte de esta articulación conceptual, en segundo lugar, se tomó en consideración aspectos inherentes a una noción de medición que permitió vincular y contrastar las diferentes prácticas asociadas a una observación tradicional con aquellas más recientes que involucran las simulaciones computacionales. Para ello, se analizó

qué es la medición astronómica desde un enfoque estadístico y del tratamiento del error, desde la construcción de instrumentos específicos sujetos a un diseño observacional dado y desde el arte de simular. En tercer lugar, como se analizó en el capítulo anterior, distintas caracterizaciones han mostrado la relevancia de las inferencias ampliativas en la evolución del mismo concepto de observación. A partir de la distinción entre una observación directa y otra indirecta, y a su vez entre lo observable y lo inobservable, las inferencias observacionales suelen estar ligadas a esquemas de razonamiento muy variados, entre los cuales pueden identificarse tanto mecanismos inductivos como patrones abductivos. En esta dirección y, en cuarto lugar, se investigaron diferentes aspectos de la noción de evidencia y su rol en las prácticas observacionales actuales. Se indagaron las relaciones entre los conceptos de evidencia e inferencia y se analizaron sus dependencias en torno al diseño de las observaciones astronómicas. Dada la relevancia de las inferencias a partir de la evidencia disponible, se desarrolló además el vínculo entre los diferentes mecanismos de producción de datos observacionales y de datos simulados y las diversas maneras de interpretarlos. Así, las relaciones empíricas que articulan este vínculo, sugieren que los datos sirven como evidencia de los fenómenos. En quinto lugar, y siguiendo con la trama conceptual, sólo se ha mencionado la necesidad de un abordaje a una noción semántica de información. Esta última noción, la cual podría formar parte de investigaciones futuras, resulta útil en este punto. Como se ha desarrollado en el capítulo anterior, la observación posee grados de libertad o dimensiones asociadas a interacciones que no son físicas, las cuales son dadas a partir de diferentes procesos epistémicos involucrados. El valor asignado a dichas dimensiones se corresponde al contenido informacional adquirido en los reportes y resultados observacionales. En esta dirección, algunas caracterizaciones filosóficas enfatizan la importancia que tienen las interacciones físicas en la transmisión de la señal, otras en cambio hacen hincapié en el contenido informativo que acarrea la señal transmitida desde el objeto hasta el sujeto cognoscente. Pese a que en este capítulo no se ha trabajado, se considera crucial aquellos tratamientos contemporáneos de la concepción semanticista que ponderan la importancia entre la naturaleza física de la señal y la señal como transporte de información y, más aún, entre la discriminación señal/ruido e información relevante/no

relevante, respectivamente. Además, a fin de analizar el carácter objetivo/subjetivo del mismo concepto, resulta significativa la problemática inherente a la codificación de la información para su accesibilidad epistémica. En esta dirección, y en sexto lugar, a partir del desarrollo de nuevas tecnologías y la elaboración de nuevos instrumentos se investigó la producción de representaciones visuales. Dada la importancia de su utilización en la dinámica observacional, se mostraron algunas de las etapas correspondientes a la codificación de la señal luminosa en los procesos de adquisición y de reducción de datos y bases de éstos. Como se demostró a través de diferentes estudios de caso, tales representaciones poseen grados de incerteza debido a la precisión del instrumental involucrado y, en consecuencia, requirieron de tratamientos observacionales especiales, tales como la restauración de imágenes digitales o la deconvolución de la señal astronómica, entre otras técnicas usadas.

Finalmente, para aplicar el método morfológico de Zwicky, resulta imprescindible identificar los parámetros necesarios para delimitar la forma del problema epistemológico en cuestión, a saber: el concepto de observación en astronomía³². Para ello, se establecerán tanto relaciones, como correlaciones entre los diferentes parámetros y sus respectivas variables y valores asociados. De esta manera, se oscilará entre aspectos metodológicos como epistemológicos de dicha noción en tal disciplina. En primer lugar, un parámetro fundamental es qué tipo de astronomía que se está considerando, más precisamente sobre qué base física se fundamenta. En cada caso, si es electromagnética por ejemplo, debe tomarse en cuenta aquellas variables vinculadas a la naturaleza de las magnitudes físicas involucradas. Otro parámetro interrelacionado a este último es el rango o región del espectro tomado en consideración y una variable posible ligada a éste es la clase de sistema de observación empleado, es decir, los instrumentos y detectores con los cuales se observa. Asimismo, otro parámetro correlacionado puede resultar de una astronomía diferente (neutrinos, ondas gravitacionales, etc.) que proveen las contrapartes observacionales de un fenómeno dado, donde los valores de cada variable incluida se vinculan con aquéllos de forma análoga. En segundo lugar, otro factor crucial para ser

³² Cabe destacar, como línea abierta de investigación, la metamorfosis de tal noción en la astrofísica cuántica.

considerado en la matriz es en qué medida dependen las prácticas observacionales empleadas con respecto a los auxiliares informáticos usados. Esto significa el grado de intervención, en un proceso observacional, tanto de la visión y de la visualización humana, como su asistencia en la automatización a través de programas expertos, necesarios para la identificación y la clasificación de objetos en las fases de adquisición y de procesamiento de datos. En esta dirección, en tercer lugar, cabe tener en cuenta otro parámetro clave en la caja morfológica, el cual está asociado al tipo particular de simulación computacional que se está utilizando a la hora de modelar un objeto astrofísico o un proceso cosmológico determinado. De esta manera, las variables incluidas estipulan la clase de simulación a llevarse a cabo, de partículas o hidrodinámicas por ejemplo. Así también se despliegan los tipos de métodos numéricos usados para lograr una discretización confiable del modelo del fenómeno en cuestión. Además, hay variables cuyos valores se vinculan con la configuración software-hardware, es decir, entre tipos de programación y capacidad de cómputo a fin de obtener una simulación con una grilla de resolución aceptable. En esta dirección, la ponderación entre tal parámetro y aquél relacionado al objetivo de la simulación, o sea, intentar reproducir una observación o bien hacerla a través de ella, resulta conveniente al momento de la validación del mismo modelo de simulación. Ello conduce al establecimiento de correlaciones entre las variables de dichos parámetros con aquellos afines a la observación tradicional, presentes en la matriz. En cuarto lugar, un componente de la caja de Zwicky, netamente de interés epistemológico, es imprescindible al reflexionar sobre la eventual continuidad de una observación, sea de la clase que sea. Esto quiere decir hasta qué punto se acepta cuán directa o indirecta resulta tal observación, considerando que no hay una línea de demarcación definida entre propiedades observables e inobservables. De acuerdo a lo que se sostuvo antes, un objeto es observable sólo a través de sus propiedades. Ahora, cuánto más o menos es directa o indirectamente observable, es parametrizable. De esta manera, hay una serie variables ligadas a este factor que conducen a diferentes valores tales como la cantidad y los tipos de intermediarios que se hallan presentes en un proceso observacional específico. Estas variables están asociadas principalmente a los instrumentos y dispositivos que conforman un sistema de observación, el cual se

constituye de una amplia variedad de elementos de registro y de procesos afines. No obstante, en quinto lugar, tal parámetro se interrelaciona con otros factores tales como la clase de experimentación considerada, el grado de evidencia disponible, el tipo y subtipo de inferencias ampliativas, el nivel de representaciones visuales, etc. Lejos de ser sólo un concepto simple, la observación es una trama que asocia una multiplicidad de nociones afines. Este enfoque, no solo arroja luz sobre aspectos metodológicos en la astronomía, sino que permite dar aproximaciones epistemológicas, observando y clasificando observaciones.

Bibliografía

Aarseth, J. S. (2003). *Gravitational N-Body Simulations: Tools and Algorithms*. Cambridge: Cambridge University Press.

Abazajian, N. K., et al. (2009). "The Seventh Data Release of The Sloan Digital Sky Survey". *The Astrophysical Journal*. Vol. 182, Issue 2, pp. 543-558.

Achinstein, P. (2001). *The Book of Evidence*. New York: Oxford University Press.

Achinstein, P. (2010). *Evidence, Explanation, & Realism*. New York: Oxford University Press.

Añorve, C., et al. (2010). "Cluster Galaxy Morphologies: The Relationship among Structural Parameters, Activity and the Environment". *AIP Conference Proceedings*. S. Heinz and E. Wilcots (eds.). Vol. 1201, pp. 131-134.

Arcand, K. et al. (2013). "Processing Color in Astronomical Imagery". *Studies in Media and Communication*. Vol. 1, N° 2, pp. 25-34.

Arnheim, R. (1971). *El pensamiento visual*. Buenos Aires: Eudeba.

Azzouni, J. (1997). "Thick Epistemic Access: Distinguishing the Mathematical from the Empirical". *The Journal of Philosophy*. Vol. 94, No. 9, pp. 472-484.

Azzouni, J. (2004). "Theory, Observation and Scientific Realism". *The British Journal for the Philosophy of Science*. Vol. 55, pp. 371-392.

Bailer-Jones, M. D. (2000). "Modelling Extended Extragalactic Radio Sources". *Studies in History and Philosophy of Science*. Vol. 31, No. 1, pp. 49-74.

Bailer-Jones, M. D. (2009). *Scientific Models in Philosophy of Science*. University of Pittsburg Press.

Bamford, S. P., et al. (2009). "Galaxy Zoo: The Dependence of Morphology and Colour on Environment". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. Vol. 393, Issue, 4, pp. 1324-1352.

Banerji, M., et al. (2010). "Galaxy Zoo: Reproducing Galaxy Morphologies via Machine Learning". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. Vol. 406, Issue, 1, pp. 342-353.

Barrena, R. et al. (2002). "The dynamical status of the cluster of galaxies 1E0657-56". *Astronomy and Astrophysics*. Vol. 386, pp. 816-828.

Bazell, D., Bankman, I. (1993). "Neural Networks: Letting Your Software Think for Itself". *Astronomical Data Analysis Software and Systems II*. R. J. Hanisch, R. J. V. Brissenden, J. Barnes (Eds.), 52, 189-193.

Bertin, E., Arnouts, S. (1996). "SExtractor: Software for source extraction". *Astronomy & Astrophysics*. Vol. 117, pp. 393-404.

Bogen, J., Woodward, F. J. (1988). "Saving the Phenomena". *Philosophical Review*. Vol. 97, pp. 303-352.

Bogen, J., Woodward, F. J. (1992). "Observations, Theories and the Evolution of the Human Spirit". *Philosophy of Science*. Vol. 59, No. 4, pp. 590-611.

BonJour, L. (1985). *The Structure of Empirical Knowledge*. Cambridge: Harvard University Press.

BonJour, L. (2002). *Epistemology: Classics Problems and Contemporary Responses*. Oxford: Rowman & Littlefield Publishers, Inc.

Bozzoli, M., Paz, D. (2010). "El rol y el alcance de la medición en la simulación astronómica". *Epistemología e Historia de la Ciencia, Selección de Trabajos de las XX Jornadas*. P. García, A. Massolo (comps.). Vol. 16. Córdoba: Editorial de la UNC.

Bozzoli, M., Paz, D. (2011). "La autonomía de los modelos en astronomía". *Representación en Ciencia y Arte*. Vol. 8. Córdoba: Editorial Brujas.

Bozzoli, M., Paz, D. (2015). "Evidencia y observabilidad en las prácticas astronómicas". *Representación en Ciencia y Arte*. Luciana Samamé, Luis Miguel Peris Viñé, Fernando Ferrari (comps.). Vol. 5. Córdoba: Editorial Brujas.

Bradt, H. (2004). *Astronomy Methods: A Physical Approach to Astronomical Observations*. Cambridge: Cambridge University Press.

Brown, H. (1987). *Observation and Objectivity*. Oxford: Oxford University Press.

Buchert, T. et al. (2015). "Is there proof that backreaction of inhomogeneities is irrelevant in cosmology?". *Classical and Quantum Gravity*. Vol. 32, No. 21.

Cartwright, N. (1999). "Models and the limit of theory: quantum Hamiltonians and the BCS model of superconductivity". *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Science*. M. S. Morgan y M. Morrison (eds.). New York: 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.

Chisholm, R. M. (1977). *Theory of Knowledge*. New York: Prentice-Hall.

Clowe, D. et al (2006). "A direct empirical proof of the existence of dark matter". *The Astrophysical Journal*. Vol. 648, pp. L109-L113.

Coenda, V., Muriel, H. (2008). "Cúmulos de Galaxias en rayos X y MaxBCG: Propiedades de Galaxias Brillantes". *Boletín de la Asociación Argentina de Astronomía*. G. Dubner, D. García Lambas, A. E. Piatti y F. A. Bareilles (eds.). Vol. 51, pp. 247-250.

Contessa, G. (2006). "Constructive empiricism, observability and three kinds of ontological commitment". *Studies in History and Philosophy of Science*. Vol. 37, pp. 454-468.

Daston, L., Galison P. (2007). *Objectivity*. New York: Zone Books.

Daston, L., Lundbeck, E. (2011). *Histories of Scientific Observation*. Chicago: University of Chicago Press.

de los Ríos, E. M. et al (2016). "The MeSsl (merging systems identification) algorithm and catalogue". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. Vol. 458, pp. 226-232.

De Vaucouleurs, G. (1957). *Discovery of the Universe: An Outline of the History of Astronomy from the Origins to 1956*. Nueva York: Macmillan Company.

Díaz, M. et al. (2017). "Observations of the First Electromagnetic Counterpart to a Gravitational-wave Source by the TOROS Collaboration". *The Astrophysical Journal*. Vol. 848, pp. 1-5.

Dijkstra, E. W. (1988). "On the cruelty of really teaching computing science". Unpublished manuscript EWD 1036.

Dowe, P. (2000). *Physical Causation*. Cambridge: Cambridge University Press.

Dretske, I. F. (1969). *Seeing and Knowing*. London: Routledge.

Dretske, I. F. (1981). *Knowledge and the Flow of Information*. Cambridge: The MIT Press.

Dretske, I. F. (2000). *Perception, Knowledge, and Belief*. Cambridge: Cambridge University Press.

Dykes, T. et al. (2018). "Interactive 3D visualization for theoretical virtual observatories". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. Vol. 477, pp. 1495-1511.

Eden, H. A. (2007). "Three paradigms of computer science". *Minds and Machines: Special issue on the Philosophy of Computer Science*. Vol. 17, pp. 135-167. London: Springer.

Edwards, P. (1999). "Global climate science, uncertainty and politics: data-laden models, models-filtered data. *Science as Culture*. Vol 8, Issue 4, pp. 437-472.

Edwards, J. K., Gaber, M. M. (2014). *Astronomy and Big Data: A Data Clustering Approach to Identifying Uncertain Galaxy Morphology*. Switzerland: Springer.

Efstathiou, G. et al. (1985). "Numerical techniques for large cosmological N-body simulations". *The Astrophysical Journal*. Vol. 57, p. 241.

Farge, M. (2007). "Numerical Experimentation: A Third Way to Study Nature". *Frontiers of Computational Science*. Kaneda, Y., Kawamura, H., Sasai, M. (eds.). Springer: pp. 15-30.

Fayyad, M. U. et al. (1996). "From Digitized Images to Online Catalogs. Data Mining a Sky Survey". *AI Magazine (AAAI)*. Vol. 17, pp. 51-66.

Feigenbaum, A. E., Cohen, R. P. (1982). *The Handbook of Artificial Intelligence Volume III*. Paul R. Cohen & Edward A. Feigenbaum (Eds.). Stanford University Press: California.

Feldman, R., Conee, E. (1985). "Evidentialism". *Philosophical Studies*. Vol. 48, pp. 15-34.

Feldman, R., Conee, E. (2004). *Evidentialism: Essays in Epistemology*. Oxford: Clarendon Press.

Fetzer, J. (1998). "Program verification: The very idea". *Communications of the ACM*. Vol. 31, Issue 9, p.1063.

Fluke, C. et al. (2006). "Future Directions in Astronomy Visualization". *Publications of the Astronomical Society of Australia*. Vol. 2, Issue 1, pp. 12-24.

Fluke, C. et al. (2009). "Interchanging Interactive Graphics for Astronomy". *Publications of the Astronomical Society of Australia*. Vol. 26, pp. 37-47.

Frenk, C. S. et al. (1999). "The Santa Barbara Cluster Comparison Project: A Comparison of Cosmological Hydrodynamics Solutions". *The Astrophysical Journal*. Vol. 525, pp. 554-582.

Galison, P. (1997). *Image and Logic. A Material Culture of Microphysics*. Chicago: University of Chicago Press.

Glymour, B. (2000). "Data and Phenomena: A Distinction Reconsidered". *Erkenntnis*. Vol. 52, pp. 29-37.

Goldman, A. (1986). *Epistemology and Cognition*. Cambridge: Harvard University Press.

Green, S. R., Wald, R. M. (2016). "A simple, heuristic derivation of our 'no backreaction' results". *Classical and Quantum Gravity*. Vol. 33, No. 12.

Guillemot, H. (2010). "Connections between simulations and observation in climate computer modeling. Scientist's practices and "bottom-up epistemology" lessons". *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*. Vol. 41, pp. 242-252.

Guo, Y., et al. (2009). "Structural Properties of Central Galaxies in Groups and Clusters". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. Vol. 398, pp. 1129-1149.

Hacking, I. (1983). *Representar e Intervenir*. S. Martinez (trad.). México: Paidós.

Hacking, I. (1989). "Extragalactic Reality: The Case of Gravitational Lensing". *Philosophy of Science*. 56, IV, 555-581. Chicago: The University of Chicago Press.

Hacking, I. (2007). *Philosophers of the Sciences and the Secrets of Nature*. Conferencia en el marco del Dr. *Honoris Causa* de la UNC. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba.

Hadot, P. (2004). *The Veil of Isis: An Essay on the History of the Idea of Nature*. M. Chase (trad.) (2006). Cambridge: Harvard University Press.

Hanson, N. R. (1977a). *Observación y Explicación*. A. Montesinos (trad.). Madrid: Alianza Editorial.

Hanson, N. R. (1977b). *Patrones de descubrimiento*. E. G. Camarero (trad.). Madrid: Alianza Editorial.

Harman, G. H. (1965). "The Inference to the Best Explanation". *Philosophical Review*. Vol. 74, pp. 88-95.

Hartmann, J. (1904). "Investigations on the Spectrum and Orbit of δ Orionis". *The Astrophysical Journal*. Vol. 19, pp. 268-286.

Harris, T. (2003). "Data Models and the Acquisition and Manipulation of Data". *Philosophy of Science*. Vol. 70, No. 5, pp. 1508-1517.

Hassan, A. et al. (2010). "Interactive visualization of the largest radioastronomy cubes". *New Astronomy*. Vol. 16, p. 100.

Hassan, A., Fluke, C. (2011). "Scientific Visualization in Astronomy: Towards the Petascale Astronomy Era". *The Astronomical Society of Australia*. Vol. 28, pp. 150-170.

Hassan, A. et al. (2013). "Tera-scale astronomical data analysis and visualization". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. Vol. 429, pp. 2442-2455.

Hayashi, E., White, S. (2006). "How rare is the bullet cluster?". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. Vol. 370, Issue 1, pp. L38-L41.

Hentschel, K. (1997). "The Interplay of Instrumentation, Experiment, and Theory: Patterns Emerging from Case Studies on Solar Redshift, 1890-1960". Proceedings of the 1996 Biennial Meetings of the Philosophy of Science Association. *Philosophy of Science*. 64, II, S53-S64. Chicago: The University of Chicago Press.

Hentschel, K. (2000). *The Role of Visual Representations in Astronomy: History and Research Practice*. Contributions to a Colloquium held at Göttingen in 1999. K. Hentschel and A. D. Wittmann (eds.). Berlin: Verlag Harri Deutsch.

Hentschel, K. (2002). *Mapping the Spectrum: Techniques of Visual Representation in Research and Teaching*. Oxford: Oxford University Press.

Hoare, C. A. R. (1986). *The mathematics of programming: an inaugural lecture delivered before the Univ. of Oxford on Oct. 17, 1985*. New York: Oxford University Press.

Hoare, C. A. R. (2006). *The ideal of program correctness*. Transcript of lecture, Computer Journal. London: British Computer Society.

Hudson, R. (2014). *Seeing Things: The Philosophy of Reliable Observation*. Oxford: 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", in *Computer Simulations and the Changing Face of Experimentation*, E. Arnold and J. Durán (eds). Cambridge: Cambridge Scholars Publishing.

Janlert, L-E. (2008). "Dark programming and the case for the rationality of programs". *Journal of Applied Logic*. Vol. VI, pp. 545-552.

Josephson, J. R., Josephson, S. G. (1994). *Abductive Inference: Computation, Philosophy, Technology*. Cambridge: Cambridge University Press.

Julius, W. H. (1905). "Dispersion Bands in the Spectra of δ Orionis and Nova Persei". *The Astrophysical Journal*. Vol. 21, pp. 286-291.

Kessler, E. A. (2007). "Resolving the nebulae: the science and art of representing M51". *Studies in History and Philosophy of Science*. Part A, Vol. 38, Issue, 2, pp. 477-491.

Kessler, E. A. (2012). *Picturing the cosmos: Hubble Space Telescope images and the astronomical sublime*. Minneapolis: University of Minnesota Press.

Kosso, P. (1988). "Dimensions of Observability". *The British Journal for the Philosophy of Science*. Vol. 39, No. 4, pp. 449-467.

Kosso, P. (1989). *Observability and Observation in Physical Science (Synthese Library)*. Boston: Kluwer Academic Publishers.

Kosso, P. (2006). "Detecting Extrasolar Planets". *Studies in History and Philosophy of Science*. Vol. 37, pp. 224-236.

Kratsov, V. A., Klypin, A. A., Khokhlov, M. A. (1997). "Adaptive Refinement Tree: A New High-Resolution N-Body Code for Cosmological Simulations". *The Astrophysical Journal*. Vol. 111, pp. 73-94.

Lagos, del P. C., Cora, A. S., Padilla, D. N. (2008). "Effects of AGN feedback on Λ CDM galaxies". *Monthly of the Royal Astronomical Society*. Volume 388, Issue 2, pages 587-602.

Lahav, O. (1995). "Galaxies, Human Eyes and Artificial Neural Networks". *Science*. Vol. 267, pp. 859-862.

Law, A. M., Kelton, W. D. (2000). *Simulation Modeling and Analysis*. New York: McGraw-Hill.

Lee, J., Komatsu, E. (2010). "Bullet Cluster: A Challenge to Λ CDM Cosmology". *The Astrophysical Journal*. Vol. 718, Issue 1, pp. 60-65.

Little, M. (2000). "Rethinking 'Experimentation'". *Philosophy of Science Association, 2000 Biannual Meeting*. Contributed papers, pp. 1-10.

Lipton, P. (1991). *Inference to the Best Explanation*. London: Routledge.

Longair, M. (2006). *The Cosmic Century: A History of Astrophysics and Cosmology*. New York: Cambridge University Press.

Lund, M. (2010). *N. R. Hanson: Observation, Discovery, and Scientific Change*. New York: Humanity Books.

Lutz, M. (1989). "Fritz Zwicky's postulate of Freedom from Prejudice Considered from the Standpoint of the Theory of Knowledge". *Morphological Cosmology: Proceedings of the XIth Cracow Cosmological School*. P. Flin and H. W. Duerbeck (eds.). pp. 410-417. Berlin: Springer-Verlag.

Magnani, L. (2001). *Abduction, Reason, and Science*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Markevitch, M. et al. (2002). "A Textbook Example of a Bow Shock in the Merging Galaxy Cluster 1E 0657-56". *The Astrophysical Journal*. Vol. 567, Issue 1, pp. L27-L31.

Martínez, J. H., Muriel, H. (2006). "Groups of Galaxies: Relationship between Environment and Galaxy Properties". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. Vol. 370, pp. 1003-1007.

Marr, D. (1982). *Vision*. New York: W. H. Freeman & Company.

Maxwell, G. (1962). "El Estatus Ontológico de las Entidades Teóricas". *Filosofía de la Ciencia: Teoría y Observación*. L. Olivé y A. R. Pérez Ransanz (trad. y eds.) (1989). México: Siglo XXI Editores – UNAM.

McAllister, J. W. (1997). "Phenomena and Patterns in Data Sets". *Erkenntnis*. Vol. 47, pp. 217-228.

McAllister, J. W. (2007). "Model Selection and the Multiplicity of Patterns in Empirical Data". *Philosophy of Science*. Vol. 74, No. 5, pp. 884-894.

McAllister, J. W. (2009). "What do patterns in empirical data tell us about the structure of the world?". *Synthese*. Vol. 182, pp. 73-87.

McAllister, J. W. (2010). "The Ontology of Patterns in Empirical Data". *Philosophy of Science*. Vol. 77, No. 5, pp. 704-814.

McGrew, T. (2011). "Evidence". *The Routledge Companion to Epistemology*. S. Bernecker and D. Pritchard (eds.). New York: Routledge.

McLean, S. I. (2008). *Electronic Imaging in Astronomy: Detectors and Instrumentation*. Berlin: Springer.

McLean, S. I. (2013). *Planets, Stars and Stellar Systems: Telescopes and Instrumentation*. T. D. Oswalt (ed.), Vol 1. Dordrecht: Springer.

Milosavljević, M. et al. (2007). "The Cluster-Merger Shock in 1E 0657-56: Faster than a Speeding Bullet?". *The Astrophysical Journal*. Vol. 661, pp. L131-L134.

Morrison, M., Morgan M. S. (1999). *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Science*. M. S. Morgan y M. Morrison (eds.). New York: Cambridge University Press.

Morrison, M. (2009). "Models, measurement and computer simulation: the changing face of experimentation". *Philosophical Studies*. Volume 143, pp. 33-57. Netherlands: Springer.

Morrison, M. (2015). *Reconstructing Reality: Models, Mathematics, and Simulations*. Oxford: Oxford University Press.

Muriel, H. (2006). "Grupos de Galaxias en la era del SDSS y el 2dF". *Boletín de la Asociación Argentina de Astronomía*. G. Dubner, M. Abadi y S. Malaroda (eds.). Vol. 49, pp. 238-245.

Nakatsu, T. R. (2010). *Diagrammatic Reasoning in AI*. Wiley: New Jersey.

Newell, A., Shaw, J. C., Simon, H. A. (1959). "Report on a general problem-solving program". *Proceedings of the International Conference on Information Processing*. pp. 256-264.

Newell, A., & Simon, H. A. (1976). "Completer science as empirical inquiry: Symbols and search". *Communications of the ACM*. Vol. 19, Issue 3, pp. 113-126.

Parker, W. (2008). "Franklin, Holmes, and the epistemology of computer simulation". *International Studies in the Philosophy of Science*. Vol. 22, Issue, 2, pp. 165-183.

Parker, S. W. (2014). "Simulation and Understanding in the Study of Weather and Climate". *Perspectives on Science, The Massachusetts Institute of Technology*. Vol. 22, No. 3, pp. 336-356.

Parker, S. W. (2015). "Computer Simulation, Measurement, and Data Assimilation". *The British Journal for the Philosophy of Science*. pp. 1-32.

Paz, D. J., Lambas, D. G., Padilla, N., Merchán, M. (2006). "Shapes of clusters and groups of galaxies: Comparison of models predictions with observations". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. Vol. 366, IV, pp. 1503-1510.

Peirce, C. S. (1878). "Deduction, Induction, and Hypothesis". *Collected Papers of Charles Sanders Peirce*. C. Hartshorne, P. Weiss, and A. Burks (Eds.). Cambridge: Harvard University Press.

Peirce, C. S. (1903). "Lectures on Pragmatism". *Collected Papers of Charles Sanders Peirce*. C. Hartshorne, P. Weiss, and A. Burks (Eds.). Cambridge: Harvard University Press.

Pironio, S. et al. (2010). "Random numbers certified by Bell's theorem". *Nature*. 464 (7291), pp. 1021-1024.

Poe, A. E. (1848). *Eureka*. J. Cortázar (trad.) (2003). Madrid: Alianza Editorial.

Psillos, S. (2004). "Tracking the Real: Through Thick and Thin". *The British Journal for the Philosophy of Science*. Vol. 55, pp. 393-409.

Quezada, P. W, Pavez, F. L. (2011). "Causalidad, pseudocausalidad y medición en física". *Revista de Filosofía*. Vol. 67, pp. 251-268.

Rácz, et al. (2017). "Concordance cosmology without dark energy". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. Vol. 469, pp. L1-L5.

Radder, H. (2003). *The Philosophy of Scientific Experimentation*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.

Radder, H. (2006). *The World Observed / The World Conceived*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.

Rapaport, W. (2005). "Implementation is semantic interpretation: further thoughts". *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*. Vol. 17, Issue 4, pp. 385-417.

Rector, T. et al. (2005). "Philosophy for the creation of astronomical images". *The ESO/ESA/IAU Conference: Communicating Astronomy with the Public 2005*. pp. 194-204.

Rector, T. et al. (2007). "Image-processing techniques for the creation of presentation-quality astronomical images". *The Astronomical Journal*. Vol. 133, pp. 598-611.

Rector, T. et al. (2017). "The Aesthetics of Astrophysics: How to Make Appealing Color-composite Images that Convey the Science". *The Astronomical Society of the Pacific*. Vol. 129, pp. 1-14.

Reichenbach, H. (1958). *The Philosophy of Space and Time*. New York: Dover.

Ruíz, A. N. et al (2011). "How accurate is it to update the cosmology of your halo catalogues?". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. Vol. 418, pp. 2422-2434.

Rudnicki, K. (1989). "Philosophical Foundations of Zwicky's Morphological Approach in Science". *Morphological Cosmology: Proceedings of the XIth Cracow Cosmological School*. P. Flin and H. W. Duerbeck (eds.). pp. 418-426. Berlin: Springer-Verlag.

Salmon, W. (1984). *Scientific Explanation and the Causal Structure of the World*. Princeton: Princeton University Press.

Schurz, G. (2008). "Patterns of Abduction". *Synthese*. Vol. 164, pp. 201-234.

Sellars, W. (1971). *Ciencia, percepción y realidad*. V. Sánchez de Zavala (trad.). Madrid: Editorial Tecnos.

Shapere, D. (1982). "El Concepto de Observación en Ciencia y en Filosofía". *Filosofía de la Ciencia: Teoría y Observación*. L. Olivé y A. R. Pérez Ransanz (trad. y eds.) (1989). México: Siglo XXI Editores – UNAM.

Shapere, D. (1993). "Astronomy and Antirealism". *Philosophy of Science*. 60, I, 134-150. Chicago: The University of Chicago Press.

Sosa, E. (1980). "The Foundations of Foundations". *Nous*. Vol. 14, pp. 547-564.

Springel, V., Yoshida, N., White, S. D. M. (2001). "GADGET: a code for collisionless and gasdynamical cosmological simulations". *New Astronomy*. Vol. 6, II, pp. 79-117.

Springel, V. (2005). "The cosmological simulation code GADGET-2". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. Vol. 364, IV, pp. 1105-1134.

Springel, V., Farrar, R. G. (2007). "The speed of the 'bullet' in the merging galaxy cluster 1E0657-56". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. Vol. 380, pp. 911-925.

Steiner, R. (1886). *A Theory of Knowledge Implicit in Goethe's World Conception*. O. D. Wannamaker (trad.) (1978). New York: Anthroposophic Press.

Suppes, P. (1962). *Estudios de Filosofía y Metodología de la Ciencia*. A. G. de la Sierra (trad.) (1988). Madrid: Alianza Editorial.

Szalay, A., Gray, J. (2006). "2020 Computing: Science in an exponential world". *Nature*. Vol. 440, pp. 413-414.

Tal, E. (2011). "From Data to Phenomena and Back Again: Computer-Simulated Signatures". *Synthese*. Vol. 1, No. 82, Issue, 1, pp. 117-129.

Tal, E. (2012). "The Epistemology of Measurement: A Model-Based Account". A thesis submitted in conformity with the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. Graduate Department of Philosophy University of Toronto.

Tal, E. (2013). "Old and New Problems in Philosophy of Measurement". *Philosophy Compass*. Vol. 8, No. 12, pp. 1159-1173.

Thompson, R., Nagamine, K. (2012). "Pairwise velocities of dark matter haloes: a test for the Λ cold dark matter model using the bullet cluster". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. Vol. 419, Issue 4, pp. 3560-3570.

Trumpler, R. J. (1930). "Absorption of Light in the Galactic System". *Journal of the Astronomical Society of the Pacific*. Vol. 42, No. 248, pp. 214-227.

Tucker, W., Tananbaum, H., Remillard, R. A. (1995). "A search for 'failed clusters' of galaxies". *The Astrophysical Journal*. Vol. 444, No. 2, pp. 532-547.

Tucker, W. et al (1998). "1E 0657–56: A Contender for the Hottest Known Cluster of Galaxies". *The Astrophysical Journal*. Vol. 496, pp. L5-L8.

van Fraassen, C. B. (1980). *The Scientific Image*. Oxford: Oxford University Press.

van Fraassen, C. B. (2002). *The Empirical Stance*. New Haven: Yale University Press.

Villard, R., Levay, Z. (2002). "Creating Hubble's Technicolor Universe". *Sky & Telescope*. Vol. 104, pp. 28-34.

Vollmer, S. (2000). "Two Kinds of Observation: Why van Fraassen Was Right to Make a Distinction, but Made the Wrong One". *Philosophy of Science*. Vol. 67, No. 3, pp. 355-365.

Watson, A. W. et al. (2014). "Statistics of extreme objects in the Juropa Hubble Volume simulation". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. Vol. 437, Issue 4, pp. 3776-3786.

Way, J. M. et al. (2012). *Advances in Machine Learning and Data Mining for Astronomy*. New York: CRC Press.

Weinmann, M. S., et al. (2006). "Properties of Galaxy Groups in the SDSS: I.— The Dependence of Colour, Star Formation, and Morphology on Halo Mass". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. Vol. 366, pp. 2-28.

White, S. (2007). "Fundamental physics: why Dark Energy is bad for Astronomy". *Reports on Progress in Physics*. Vol. 70, No. 6, pp. 883-898.

Wild, P. (1989). "Fritz Zwicky". *Morphological Cosmology: Proceedings of the XIth Cracow Cosmological School*. P. Flin and H. W. Duerbeck (eds.). pp. 391-398. Berlin: Springer-Verlag.

Wiltshire, L. D. (2011). "What is dust?—Physical foundations of the averaging problem in cosmology". *Classical and Quantum Gravity*. Vol. 28, No. 16.

Williams, J. G. et al. (1976), "New test of the equivalence principle from lunar laser ranging". *Phys. Rev. Letter*. Vol. 36.

Winsberg, E. (1999). "Sanctioning Models: The Epistemology of Simulation". *Science in Context*. Vol. 12, pp. 275-292.

Winsberg, E. (2003). "Simulated Experiments: Methodology for a Virtual World". *Philosophy of Science*. Vol. 70, pp. 105-125.

Winsberg, B. E. (2010). *Science in the Age of Computer Simulation*. Chicago: The University of Chicago Press.

Wise, N. (2006). "Making Visible". *Focus: Science and Visual Culture*. Vol. 97, pp. 75-82.

Woodward, F. J. (1989). "Data and Phenomena". *Synthese*. Vol. 79, No. 3, pp. 393-472.

Woodward, F. J. (2000). "Data, Phenomena, and Reliability". *Philosophy of Science*. Vol. 67, No. 3, pp. 163-179.

Woodward, F. J. (2009). "Data and Phenomena: A Restatement and Defense". *Synthese*. Vol. 182, No. 1, pp. 165-179.

Woodward, F. J. (2010). "Data, Phenomena, Signal, and Noise". *Philosophy of Science*. Vol. 77, No. 5, pp. 792-803.

York, G. D., Gingerich, O., Zhang, N-S. (2012). *The Astronomy Revolution: 400 Years of Exploring the Cosmos*. New York: CRC Press.

Zwicky, F. (1937a). "Nebulae as Gravitational Lenses". *Physical Review*. Vol. 51, Issue 4, p. 290.

Zwicky, F. (1937b). "On the Probability of Detecting Nebulae Which Act as Gravitational Lenses". *Physical Review*. Vol. 51, Issue 8, p. 679.

Zwicky, F. (1948). "Morphological Astronomy". *The Observatory. The Halley Lecture for 1948*. Vol. 68, No. 845, pp. 121-143.

Zwicky, F. (1957). *Morphological Astronomy*. Berlin: Springer-Verlag.