

Modelos y representación en química

Autor:

Accorinti, Hernán Lucas

Tutor:

Lombardi, Olimpia

2023

Tesis presentada con el fin de cumplimentar con los requisitos finales para la obtención del título de Doctor por la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Buenos Aires en Filosofía.

Posgrado

Universidad Nacional de Buenos Aires

Facultad de Filosofía y Letras

Tesis Doctoral

*Modelos y representación
en química*

Autor: Hernán Lucas Accorinti

Directora: Olimpia Lombardi

Codirector: Sebastian Fortin

En gran parte, la presente tesis se elaboró sobre la base de las siguientes publicaciones:

Accorinti, H. (2022). “El problema de la representación: ¿razonamientos subrogantes válidos o sólidos?”, *CRÍTICA - Revista Hispanoamericana de Filosofía*, **54** (160): 57–81.

Accorinti, H. y Martínez González, J. C. (2022). “Models and idealizations in quantum chemistry: The case of the Born-Oppenheimer approximation”, pp. 107–125, en O. Lombardi, J. C. Martínez González y S. Fortin, S. (eds.), *Philosophical Perspectives in Quantum Chemistry*. Dordrecht: Springer.

Accorinti, H. y Labarca, M. (2020). “Comentary on the models of electronegativity”, *The Journal of Chemical Education*, **97**: 3474–3477.

Accorinti, H., Córdoba M. y López, C. (2020). “Monismo versus pluralismo: límites y alcances del pluralismo en la filosofía de la ciencia contemporánea”, *Hybris. Revista de Filosofía*, **11** (2): 203–236.

Accorinti, H. (2019). “Incompatible models in chemistry: the case of electronegativity”, *Foundations of Chemistry*, **21**: 71–81.

Accorinti, H. y Martínez González, J. C. (2016). “Acerca de la independencia de los modelos respecto de las teorías: un caso de la química cuántica”, *Theoria*, **31**: 225–245.

Lombardi, O., Accorinti, H. y Martínez González, J. C. (2016). “Modelos científicos: el problema de la representación”, *Scientiae Studia*, **14**: 151–174.

Índice

Prólogo	1
Agradecimientos	6
Introducción	8
Objetivos del trabajo	14
Estructura del trabajo	18
Capítulo 1	
La noción de modelo en ciencia	
1.1 La concepción semántica	21
1.2 Las primeras voces disidentes	30
1.3 Modelos como mediadores autónomos	42
1.4 La nueva concepción semántica	47
1.5 Algunas consideraciones sobre realismo, antirrealismo, instrumentalismo y representación	55
Capítulo 2	
Binomio modelo-sistema target: el problema de la representación	
2.1 Los requisitos materiales para una teoría sobre la representación	66
2.2 Las concepciones sustancialistas de la representación	73
2.3 La salida pragmática	82
2.4 La concepción inferencial	88
2.4.a La concepción DDI de Hughes	
2.4.b La concepción inferencial de Suárez	
2.4.c La concepción interpretativa de Contessa	
2.5 Representaciones epistémicas: ¿RS válidos o sólidos?	104
2.5.a Ventajas y desventajas de sendos criterios	

- 2.5.b Los argumentos contra el criterio instituido a partir de los RS sólidos
 - 2.5.b.1 La noción de *misrepresentación*
 - 2.5.b.2 El sofisma Pegaso
 - 2.5.b.3 Argumentando con ejemplos
 - 2.5.b.4 Los argumentos de Bolinska

Capítulo 3

El perspectivismo y los modelos incompatibles

3.1	Introducción	136
3.2	Modelos incompatibles en química	142
3.2.a	Modelos incompatibles sobre la electronegatividad	
3.2.b	Enlaces químicos: Enlace de Valencia y Orbital Molecular	
3.2.b.1	Modelo del Enlace de Valencia	
3.2.b.2	Modelo del Orbital Molecular	
3.3	La noción de incompatibilidad	156
3.3.a	La noción de incompatibilidad en los modelos científicos	
3.4	El perspectivismo	161
3.4.a	El perspectivismo y los modelos incompatibles	
3.4.b	Condiciones necesarias para una genuina incompatibilidad	
3.5	Modelos de enlace y de electronegatividad a la luz del perspectivismo	178

Capítulo 4

¿Quién le teme al instrumentalismo?

4.1	¿Qué decir de los pluralismos científicos?	197
4.1.a	Un pluralismo de corte metafísico	
4.1.b	Un pluralismo de corte epistémico	
4.1.c	Un pluralismo de corte ontológico	
4.1.c.1	Límites conceptuales del pluralismo ontológico	
4.2	¿Qué decir del inferencialismo?	216
4.3	¿Quién le teme al instrumentalismo?	224
4.3.a	El ficcionalismo	
4.3.b	Un nuevo instrumentalismo	

Capítulo 5

Binomio modelo-teoría: el problema de la independencia.

5.1	Introducción	248
5.2	La concepción semántica y el punto de vista teórico-dominante	253
5.2.a	Modelos y teorías	
5.3	El debate en torno del modelo de los hermanos London	260
5.3.a	Dependencia, representatividad y hacedores de verdad	
5.4	Modelos atómicos y moleculares: la aproximación Born-Oppenheimer	268
5.5	Diferentes clases de idealizaciones	272
5.5.a	Clasificaciones tradicionales de las idealizaciones	
5.5.b	¿Qué tipo de idealización es la aproximación Born-Oppenheimer?	
5.6	Modelos inconsistentes: soluciones no instrumentalistas	282
5.7	Inconsistencia, independencia e instrumentalismo	296
	Conclusiones finales	301
	Referencias	307

Prólogo

¿Por qué hacerlo?

Cuáles son las razones por las cuales uno adopta una perspectiva; sobre qué bases se configuran los artilugios argumentativos en favor o en contra de una postura. En el transcurso de esta tesis esgrimiré una serie de argumentos en favor de una perspectiva instrumentalista del conocimiento científico en química, pero soy consciente que su contraparte tendrá sus propios argumentos y contra argumentos en favor de una concepción representacionalista y realista. Entonces, ¿para qué argumentamos? Quizás esta pregunta requiera de otra que la antecede ¿desde dónde argumentamos?

Con el tiempo me he convencido de que, para comprender el origen de perennes y longevas discusiones, es conveniente contemplar el conjunto de actitudes y valores previos necesarios en la producción de nuestras creencias o argumentos. Si así fuera, la pregunta acerca de desde dónde argumentamos puede iluminar la pregunta acerca de para qué argumentamos. ¿Los argumentos forjan las opiniones o son estas las que estimulan y canalizan los argumentos? Durante el devenir de mi carrera profesional, pero sobre todo en el transcurso de conversaciones mundanas pero igualmente infinitas, me he dado cuenta de que el proceso argumentativo y la adopción de una postura u otra no están entrelazados: uno no adopta una postura producto de una serie de argumentos; y no tiene por qué hacerlo. Por cuestiones estéticas, políticas, ideológicas, éticas y también, por supuesto, epistémicas, se toma una posición, y recién luego se construyen los mejores argumentos posibles con vistas a que las convicciones personales se vean reflejadas en un marco de racionalidad no arbitraria que sea susceptible de entrar en el juego de la intersubjetividad. Y quizás este sea el único sentido. Uno no se enreda en este tipo de proyectos discursivos ni para convencer ni para cambiar (aun cuando lo primero sea un anhelo y lo segundo una posibilidad), sino para exponer los límites, los alcances y los compromisos supuestos de las posturas en juego. La filosofía no corre con la misma suerte que la ciencia: el éxtasis que genera el éxito le está vedado de raíz. La búsqueda de resultados, afortunadamente, no está en su ADN. El quehacer filosófico desconfía del éxito y su razón de ser no es más ni menos que establecer *clusters* de compromisos, intentando forzar al máximo los argumentos para que

allí encuentren sus límites y fortalezas. Mi anhelo personal es que este trabajo sea una humilde muestra de ello.

¿Desde dónde hacerlo?

Existen los grandes hombres, los hombres que con su incidencia cambian el curso de la historia y crean posibilidades antes impensadas. Pero existen también los hombres de su época, hombres que solo intentan hacer lo mejor que pueden con lo que tienen. Yo, no es necesario aclararlo, soy de los últimos. Estoy, con disgusto y resignadamente, viviendo en una época posmoderna donde las identidades colectivas se resquebrajan en trozos inconexos pero maleables, identidades que ya no se establecen por estructuras objetivas sino que se determinan por las aspiraciones individuales, donde las grandes utopías y los meta-relatos son sustituidos por conquistas ilusorias, por relatos y anhelos (porque todo relato es también un anhelo) fragmentados, parciales.

La filosofía de la ciencia no se ha mantenido ajena a estos cambios de época. Kuhn configuró el marco interpretativo para que las verdades (en plural) sean entendidas como relativas y dependientes de los paradigmas. El posmodernismo acechaba pero no avasallaba. Los paradigmas seguían constituyéndose como grandes relatos que brindaban una imagen totalizadora, aunque relativa, del mundo. Pero el sentir de la época exigía dar un paso más. La concepción semántica, quizás sin saberlo –al fin y al cabo así funciona la dinámica de la historia–, sentó las bases para que se cerrara lo que el espíritu de la época demandaba. Cuando esta tradición estipuló que, para entender la producción del conocimiento científico, era necesario dejar de pensar en términos de leyes abstractas, universales y generales, en favor de un conocimiento que se codificaba, fundamentalmente, a partir de los modelos que estas leyes habilitaban, la suerte ya estaba echada. Era cuestión de tiempo para que, también en el contexto de la actividad científica y la filosofía, se desplegara la cosmovisión imperante. El conocimiento científico ya no es capaz de brindar una imagen uniforme, homogénea y consistente del mundo. El conocimiento, desde los modelos, es un conocimiento parcial, fragmentado, supeditado a los propósitos del investigador; y el mundo, se presenta multiforme, en retazos inconexos y desarticulados.

Desde este lugar me ha tocado investigar.

¿Qué decir?

Durante el tercer año del doctorado, cuando el tema de investigación ya estaba definido y la idea de tesis inicial –como es de esperar– se modificaba, tuve un problema. En el techo de mi habitación lo que había comenzado, al igual que la tesis, como una incipiente y no definida mancha, se iba expandiendo sigilosa pero constantemente.

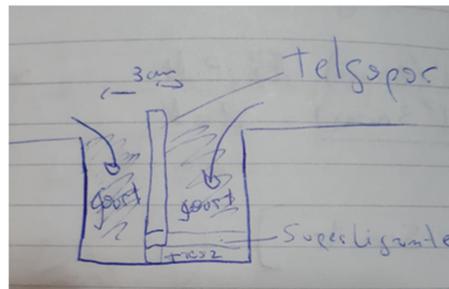
El origen del problema era sabido: una incompleta, resquebrajada y vieja junta de dilatación por donde se filtraba el agua. Años atrás lo había querido enfrentar tímidamente. Brea líquida en las fisuras de la junta fue, ahora me doy cuenta, mi cándida solución. Por supuesto, semejante tibieza fue respondida con contundencia. Ahora el techo comenzaba a mostrar sus primeras pero inquietantes fisuras.

Sin embargo, pese a la experiencia anterior, dudé si repetir nuevamente el proceso, sabiendo que el problema continuaría y surgiría algunos años después, o recomponer definitivamente la junta de dilatación. No fue un acto de valentía (quizás nunca lo sea) sino un ensayo en una de las partes de la junta lo que me convenció de no adoptar el mismo camino. Debajo de la brea vieja había una delicada y consistente canaleta. Una canaleta preciosamente confeccionaba que auguraba un camino llano y sin sobresaltos, para que allí, donde la antigua junta dejaba su lugar, pudiera reposar y descansar el nuevo material. El proceso para quitar la brea demoraba aproximadamente un minuto por centímetro lineal. Me habían dicho: “El trabajo es sencillo: sacar, limpiar y poner”. Proyecté. Un día para sacar la brea y un día para poner el nuevo sellador. Luego de buscar en internet, pude hacerme de todo el material: cincel, maza, lijas, disco para amoladora, trapos viejos, cinta de papel, y lo que a lo largo del trabajo fui denominando indistintamente como chorizos, salchichas o pomos selladores.

Las recomendaciones iniciales y la razón por la cual había tomado la decisión de encarar el trabajo empezaron a fallar inmediatamente. La terraza no era lo que parecía. ‘Sacar limpiar y poner’ ya no era una opción. Luego de superar los primeros 4 metros con solvencia y entusiasmo, la estructura de la junta de dilatación se desmoronaba centímetro a centímetro a medida que, quitando la brea, la buscaba desesperadamente, sin encontrarla. Ya no se presentaba aquella consistente y delicada canaleta. Ahora lo que había debajo de la brea era tierra. Solo tierra. Ni cemento, ni ladrillo, ni membrana, ni carpeta, ni nada. Tierra. Entre 3 a 8 centímetros de tierra de profundidad entre el techo y las baldosas de la terraza.

¿Y debajo? Más tierra. Para ese entonces era sábado, en cualquiera de sus acepciones la sombra y oscuridad le iban paulatinamente ganando a la luz; y la lluvia, pronosticada para el lunes de la otra semana, me acechaba.

El modelo inicial ya no funcionaba. Tenía, con premura, que conseguir otro que lo reemplazara. Mitad por búsqueda mitad por suerte me contacté con un especialista que me planteó el siguiente modelo alternativo.



(Figura 1)

El trabajo yo no era el mismo. Ahora no tenía que sustituir un sellador viejo por uno nuevo, sino reconstruir íntegramente la estructura de la junta. Para este entonces era lunes, me quedaba una semana, y debía conseguir el nuevo material: planchas de telgopor de un centímetro de espesor, Grout cementicio (una especie de cemento líquido que se utiliza para rellenar estructuras) y ligante (un pegamento especial para colocar sobre tierra y sobre los labios de la futura estructura).

El miércoles la situación era la siguiente: la junta de dilatación estaba absolutamente abierta y destrozada; mi pareja transitaba el quinto mes de embarazo, yo debía trabajar y la lluvia ya no caería el lunes de la siguiente semana sino dos días antes. Si la lluvia llegaba en esa situación, los techos se llenarían de agua. No era una opción.

Nuevamente, la descripción del modelo era relativamente sencillo: “Colocá un pedazo de telgopor justo en el medio de la junta, sostenelo firme y en sendos lados, previa colocación del ligante, echale el Grout cementicio. Cuando seca, sacás lo que sobresale del telgopor y rompés un poco más el telgopor de modo que te quede un centímetro de profundidad. Eso será tu nueva canaleta a la cual le tendrás que poner, ahora sí, el sellador definitivo”.

Si bien la tarea ya no era la inicial, era viable. Sin embargo, el modelo, como siempre sucede, fue solo parcialmente adecuado. El ligante no adhería sobre la tierra. El telgopor no

se mantenía recto, el Grout sobresalía por sobre la canaleta, secaba rápido y la terraza quedaba con pequeñas pedazos de cemento que por supuesto había que eliminar sistemáticamente, pues las irregularidades producidas sobre la superficie de la terraza atentaría con la necesaria caída del agua de lluvia hacia la rejilla. Todo esto haciendo la mezcla en pequeñas cantidades para que no se secase en el balde de albañil. Por supuesto, esto implicó realizar mil veces la misma tarea: tres palas de Grout por cada cien mililitros de agua (¡no más!), y mezclar durante aproximadamente 3 minutos hasta lograr una mezcla homogénea.

Con la caída del sol del día viernes, un día antes de que la lluvia llegara, extenuado, sucio, y, como buen principiante, con las manos, las piernas y la cara llenas de restos de material, caí desplomado sobre la terraza. Mientras fumaba el cigarro final que me permitía contemplar ahora sin preocupación la obra concluida, me pregunté, ¿será que todo esto funcionará? Y ¿por cuánto tiempo? En ese momento tuve la sensación de que el acto de la modelización en ciencia no era muy diferente a lo que había vivido esos días. Un trabajo sistemático y agotador para aplicar un modelo a una realidad que se resiste adecuarse a sus términos; con la única certeza de que, en el mejor de los casos, los modelos científicos funcionan mientras funcionan. Una suerte de epifanía consolidó las intuiciones que desde un principio guiaron la presente investigación. Sentí que al fin de cuentas solo el tiempo sedimenta el imaginario de que existe una estrecha correlación entre lo que hacemos y aquello que llamamos mundo.

Agradecimientos

Con un poco de pudor pero mucha consciencia quiero agradecerle al pueblo argentino. Estoy convencido que sin su inestimable esfuerzo y sacrificio, la Universidad de Buenos Aires, que me ha cobijado durante todos estos años de formación profesional, no sería posible. Con esperanza, pero con cierta incredulidad, deseo fervientemente que, en algún momento, todos los que hemos sido formados por esta y todas las universidades públicas nacionales podamos retribuirle, aunque sea mínimamente, parte del trabajo que han realizado para que estas universidades se mantengan en pie. Pero para que ello sea posible se necesitan más personas con la inteligencia y la calidez humana y profesional de Olimpia.

Su carrera ha sido tan inmensa y su capacidad para formar investigadores tan importante, que ya no tiene sentido intentar ser original para expresarle mi reconocimiento. Me resigno, entonces, a decirle simplemente lo que pienso. La alegría que sentí cuando aceptó dirigir mi tesis doctoral fue enorme. En ese momento supe el esfuerzo y el trabajo que iba a tener que hacer para poder responder a la excelencia que ella representaba. No puedo decir que lo he logrado, me conformo simplemente con no haberla defraudado. El ambiente de trabajo que generó, la dedicación que tuvo para explicarme el insondable mundo de la química cuántica, y la calidez de su preocupación para que me desarrollara como investigador y persona, hacen que si acaso algún mérito tiene esta tesis, se lo deba a ella. Por todo esto, lo único que puedo decirle es, gracias.

Pero sería injusto si no mencionara a los compañeros del grupo de filosofía de las ciencias especiales del cual tuve la fortuna de ser parte. No solo encontré excelentes profesionales que, desde sus diferentes formaciones académicas, contribuyeron para que esta tesis pudiera realizarse, sino, y fundamentalmente, amigos que seguro perdurarán para toda la vida. Mis palabras de agradecimiento para Sebastián Fortín, Juan Camilo Martínez González, Cristian López, María José Ferreira Ruiz, Manuel Herrera, Jesús Alberto Jaimes Arriaga, Alfio Zambon, Mariana Córdoba, Martín Labarca y, por último, para Cecilia Piérola, que no es integrante del grupo pero, sin lugar a dudas, en algún sentido también forma parte de esta tesis. Entre ellos, Camilo y Cristian merecen un reconocimiento especial. A Camilo, por la paciencia, la humildad y la delicadeza que tuvo para enseñarme el asombroso mundo de la química. Las largas horas de trabajo y diversión me quedarán

siempre grabadas en el corazón. A él, mi cariño eterno. A Cristian, por su inteligencia infinita y su integridad. No tengo dudas que sin su presencia, mis convicciones serían opacas. Al único anarco-capitalista que respeto, mi admiración.

A Sole, a quien le dedico esta tesis, por apoyarme siempre en los momentos difíciles, pero por sobre todo, por regalarme los momentos más hermosos de mi vida.

Introducción

Marco teórico

Desde que la concepción semántica estipuló que una adecuada forma de identificar o pensar las teorías científicas era considerándolas a partir del conjunto de sus modelos y no a partir de sus leyes, la noción misma de modelo cobró una relevancia inusitada. Si bien es cierto que este movimiento puede rastrearse en tiempos anteriores ya que, por ejemplo, von Neumann, tempranamente, había advertido que “las ciencias no intentan explicar, apenas intentan interpretar, principalmente hacen modelos.” (von Neumann 1955, p. 157), fue la concepción semántica la que sentó las bases para el desarrollo de un movimiento filosófico que adoptó los modelos como eje estructural para interpretar el modo en que evoluciona y se articula la producción del conocimiento científico.

Dicho reconocimiento se ha manifestado en una proliferación de textos en los que se intenta caracterizar qué es un modelo, determinar sus usos, clasificar sus tipos y mostrar sus funciones dentro del campo de la ciencia. A su vez, este proceso condujo a un desplazamiento respecto de aquellas perspectivas estándar que, fijando tradiciones de investigación, cristalizaron una visión donde los modelos no se constituyen como articuladores del conocimiento científico. En los albores de la epistemología moderna se suponía que el conocimiento científico estaba cifrado en las teorías, en particular en sus leyes fundamentales, mientras que los modelos se concebían como meras instancias aplicativas o explicativas de ellas. Carnap, en su obra *Foundations of Logic and Mathematics*, señala que “es importante reconocer que el descubrimiento de un modelo no tiene más que un valor estético o didáctico o, en el mejor de los casos, un valor heurístico. Pero no es esencial para el éxito de las teorías físicas” (Carnap 1939, p. 68)

La cita en cuestión cobra relevancia porque evidencia los supuestos de una epistemología clásica que limita y circunscribe su enfoque sobre la base del éxito de las teorías físicas. En este sentido, uno de los diagnósticos realizados fue que la desatención del papel que cumplen los modelos en el desarrollo del conocimiento científico se debía a una especie de “imperialismo de la física” (Scerri 2000, p. 421), que imponía dicha disciplina como paradigma para entender la evolución del conocimiento científico en general. Sin embargo,

durante las últimas décadas la filosofía de las ciencias particulares (en contraposición con una filosofía de la ciencia que, diciéndose general, preconizaba como universal los estándares de una disciplina particular) ha incorporado el estudio de otras disciplinas científicas, como la química, la biología o la economía, todas ellas con sus propias especificidades teóricas, pragmáticas y metodológicas. Fue este movimiento de apertura el que condujo a reconsiderar el modo en el que se concibe la actividad científica. Precisamente en el marco de esta apuesta se inscribe la presente investigación.

Tema de investigación

A pesar de los avances que supuso la concepción semántica respecto de la perspectiva instituida por el positivismo lógico, este primer movimiento, como suele suceder, no fue suficientemente radical. Como analizaremos más detenidamente en el Capítulo 1, en las últimas décadas se han denunciado los límites conceptuales de esta concepción. Por un lado, algunos autores han considerado que la concepción semántica, a pesar del revuelo que generó en el ámbito de la filosofía de la ciencia, no fue tan novedosa (Chakravartty 2001; Halvorson 2012, 2013, 2016; Lutz 2014a, 2014b, 2017). Pero, por otro lado y fundamentalmente, para otros autores, la concepción semántica, al igual que la concepción sintáctica, estaba simplemente equivocada (Morgan y Morrison 1999; Morgan 1999; Morrison 1999; Suárez 1999a; Knuuttila 2003; Boon y Knuuttila 2008; Suárez y Cartwright 2008).

Frente a este diagnóstico, y a la luz del desarrollo de la filosofía de las ciencias particulares, surgió una nueva propuesta hermenéutica caracterizada como *the modelistic view*. Esta propuesta, que pretende rediseñar el sentido en el cual los modelos advienen al centro de la escena, no supone una homogeneidad de creencias sino que, por el contrario, admite una multiplicidad de estrategias heterogéneas. En el marco de las propuestas que podemos considerar como concepciones representativas del conocimiento, las perspectivas de análisis van desde un revisionismo de la concepción semántica (Chuang 1997, 1998; French y Ladyman 1999; Bueno, French y Ladyman 2002; da Costa y French 2003) hasta una versión anti-semantista que considera los modelos como mediadores autónomos (Morgan y Morrison 1999). A su vez, se desarrollaron también propuestas que, ya sea por rescatar una función interpretativa por sobre la representativa (Chin 2011) o por

caracterizar a los modelos como artefactos epistémicos (Knuuttila 2005a, 2005b, 2009; Knuuttila y Boon 2011), sostuvieron que la nueva epistemología sobre los modelos no fue lo suficientemente radical dado que, al igual que las perspectivas tradicionales, seguía concibiendo el valor epistémico de los modelos en términos representativos.

Como afirma Gelfert (2016), la nueva concepción semántica, que incluye como padres fundadores a Newton da Costa y Steven French y como defensores públicos a Otavio Bueno y James Ladyman, intenta reconciliar el espíritu de la concepción semántica con la práctica científica invocando la noción de estructuras parciales.

Paralelamente a esta tendencia surge otra línea de investigación defendida por Lombardi (1998, 2010) y Morgan y Morrison (1999) que, aun encuadrándose dentro de una perspectiva representacionista, se instituye como fuertemente crítica a cualquier perspectiva semanticista. Las autoras plantean que los modelos son mediadores autónomos, independientes, tanto de las teorías como de los datos. No son, afirman, ni meras instancias aplicativas de las teorías ni meras construcciones que devienen de los datos. La relativa autonomía se debe a que los modelos no están situados en una relación jerárquica entre la teoría y los datos, sino que juegan un rol independiente al eje teoría-mundo al incorporar elementos diversos y heterogéneos que exceden tanto al marco teórico de referencia como a los fenómenos a los que el modelo aplica. Los modelos se comportan entonces como agentes autónomos que, adquiriendo una naturaleza híbrida, median entre las teorías y el sistema target (Morgan 1999; Suárez 1999; Fisher 2006). Este modo de concebir un modelo como mediador epistémico contribuye a comprender una línea de investigación que pretendemos desarrollar y profundizar, desde una perspectiva no representacionista, en el contexto de las ciencias químicas. Ello evidenciará en qué sentido puede hablarse de los límites de la concepción *teórico-dominante* involucrada en la concepción semántica.

Un segundo exponente de esta nueva línea de investigación de tipo no semanticista, que pone en el centro de la escena los modelos como elementos primordiales de la construcción del conocimiento, es Knuuttila (2003, 2005a, 2005b, 2009). La autora mantiene ciertos puntos de contacto con los defensores de los modelos como mediadores autónomos al afirmar que, en efecto, los modelos median autónomamente entre las teorías y el mundo; pero radicaliza el discurso al destacar como elemento primario de la medicación y de la autonomía la materialidad de los modelos (Knuuttila 2003, 2005b). La dimensión material

concreta de los modelos se presenta como un criterio que distingue esta concepción de aquella defendida por Morrison y Morgan. Como sostienen Boon y Knuuttila, “no es suficiente que los modelos se consideren autónomos; también deben ser concretos en el sentido de que deben tener una dimensión tangible en la que se pueda trabajar” (Boon y Knuuttila 2008, p. 694).

Precisamente, considerar el aspecto concreto, material, de los modelos es de vital importancia para esta perspectiva, que caracteriza los modelos científicos como artefactos epistémicos. Los modelos entendidos como artefactos materiales proveen información no por el hecho de representar o reflejar una imagen del fenómeno a estudiar, sino porque la materialidad que suponen provee conocimiento en el propio proceso de manipulación y construcción. Analizando ciertas prácticas propias de la ingeniería y de la economía, Boon y Knuuttila advierten que, en ocasiones, los modelos no se utilizan para fines representativos sino para el diseño o bien de teorías o bien de otros dispositivos o instrumentos. Para las autoras, este aspecto fuertemente funcional e instrumental de los modelos debe considerarse para todas las prácticas científicas (ver Boon y Knuuttila 2008). En esencia, una de las críticas principales que entraña la concepción de los modelos como artefactos epistémicos, con la cual simpatizamos, es que la epistemología sobre los modelos ha quedado anclada en una concepción representacionista limitada y parcial que asocia conocimiento con representación. En este sentido, la apuesta es afirmar que los modelos devienen epistémicamente relevantes durante el proceso mismo de modelización, con independencia de la relación de representación que mantengan con el sistema target. Se constituyen como fuentes de conocimiento mediante su uso y su construcción. Lo novedoso de esta concepción artefactualista de los modelos es que introduce la actividad de modelar como una nueva unidad de análisis relevante al afirmar que, mediante el proceso de manipulación y construcción de los modelos, obtenemos inferencias relevantes que no necesariamente remiten a un sistema. La ventaja de concebir los modelos como objetos concretos es que tal característica hace que *el problema* se vuelva “manipulable”. Precisamente es gracias a ello que los modelos exceden el carácter representativo y se desarrollan primordialmente para generar nuevas áreas de investigación.

Ahora bien, entre este mar de discrepancias existe, sin embargo, un juicio común aunque no por ello prometedor: la mayoría de los autores afirman, casi resignadamente, que la

existencia de modelos a escala, modelos analógicos, modelos matemáticos, modelos de datos, modelos teóricos, modelos computacionales, e incluso modelos sin sistemas target, supone una heterogeneidad difícil de articular en un criterio unívoco y general (Hartmann 1995; Sterrett 2005; Gelfert 2016). Si a ello le sumamos las diferentes nociones de modelo existentes (Achinstein 1965; Thomson-Jones 1997) como los diferentes tipos de idealizaciones involucradas en cada una de las modelizaciones (Cartwright 1983; McMullin 1985; Hartmann 1998; Chuang 1999, 2004; Jones 2005; Morrison 2005; Batterman 2009; Norton 2012; Weisberg 2013), comprenderemos la dificultad que encierra todo intento de brindar una comprensión integral del proceso de modelización. Esta complejidad teórica se incrementa aún más si se considera la multiplicidad de elementos involucrados en el proceso de modelización.

Como mínimo, la conformación de un modelo involucra un sistema target; leyes que establecen y constriñen el comportamiento de las entidades involucradas en el modelo; datos que se extraen del sistema a estudiar; modelos de datos que se generan mediante combinaciones particulares de dichos datos; marcos teóricos que legitiman la metodología para extraer los datos y confeccionar los modelos de datos; y el modelo teórico propiamente dicho que, siendo aquel que pretende dar cuenta del sistema, no se contrasta directamente con este sino solo indirectamente a través de los modelos de datos (para una caracterización más completa de los elementos involucrados en la formación de un modelo, ver Bailer-Jones 2009 y Frigg 2010).

Como es de suponer cada uno de estos elementos ha sido objeto de análisis y de debate. Respecto del sistema target, los problemas van desde un intento por explicar cómo se construye el sistema de estudio, hasta la pregunta en torno a si en efecto todo modelo requiere o no de un sistema target (ver Weisberg 2013; Luczak 2016; Cassini 2018). Paralelamente, los modelos de datos, que son en definitiva aquellos modelos con los cuales se contrastan los modelos teóricos (ver Harris 2003; van Fraassen 2006; Bailer-Jones 2009), también se construyen sobre la base de la manipulación de aquellos datos brutos (*raw data*) obtenidos experimentalmente. En este sentido surge una serie de preguntas: ¿qué relación existe entre el tetranomio fenómeno-datos-modelos de datos-modelo teórico? A su vez, si se considera el papel interpretativo y la carga teórica existente en todo proceso de producción del modelo de datos ¿son realmente de distinta clase los modelos teóricos de los modelos

de datos?; ¿hasta qué punto el patrón obtenido como producto de la manipulación de los datos brinda una información fiel del fenómeno?, y ¿qué tipo de modelos o técnicas se utilizan para la producción de los modelos de datos? (para una discusión respecto de la primera pregunta, ver Morrison 1999; Bokulich 2020; Bokulich y Parker 2021; para una discusión respecto de la segunda pregunta, ver Woodward 1989; McAllister 1997; Harris 2003; para la tercera, consultar Bokulich 2020).

Por cuestiones estrictamente metodológicas, la presente investigación, si bien contemplará tales preguntas, no se adentrará profusamente en ellas. Con el objeto de evidenciar que el primer movimiento en torno a la reivindicación del proceso de modelización en la producción del conocimiento científico no fue tan prometedor como inicialmente se esperaba, en esencia la tesis se centrará en el trinomio teoría-modelo teórico-sistema target (para un compendio de este trinomio, ver Frigg 2009). En relación con ello creemos que una adecuada exégesis de la tarea de modelización debe responder al hecho de que, dado un sistema target, no solo puede existir una multiplicidad de modelos pertinentes pero incompatibles, sino que, a su vez, un mismo modelo puede incorporar en su interior teorías incompatibles. En este sentido, contemplando las nuevas posturas que los diferentes autores han adoptado en torno al problema de la función de los modelos en ciencias, la presente investigación intentará introducirse en el contexto de una larga discusión que emergió en torno a dos ejes temáticos: la relación entre modelo-sistema target por un lado y la relación entre modelo-teoría por otro.

Objetivos del trabajo

Sobre la base del marco general presentado en la Introducción, se articulan los siguientes objetivos del trabajo.

Objetivo general

El objetivo general del presente trabajo consiste en analizar los modelos tal como son usados en las ciencias fácticas, especificando el tipo de relación que existen entre *modelo-sistema target* y *modelo-teoría*. En términos más precisos, se pretende analizar críticamente el *problema de la representación* involucrado en el primer binomio presentado, y el *problema de la dependencia* involucrado en el segundo binomio. Confiamos que el análisis de estos dos dominios nos permitirá introducir un nuevo instrumentalismo, instituido desde la concepción de los modelos como mediadores autónomos, como una perspectiva legítima para entender el proceso de producción del conocimiento científico.

Asimismo, desde una perspectiva global basada en un estudio interdisciplinario que conjuga ciencia y filosofía, el trabajo se propone reivindicar a la ciencia química como una disciplina que puede desarticular los cánones clásicos imperantes en la filosofía general de la ciencia.

Objetivos específicos

Sobre la base del objetivo general, se articularán los siguientes objetivos específicos.

- El primer objetivo consiste en analizar críticamente la concepción semántica de las teorías científicas respecto del papel asignado por tal tradición a los modelos y a las leyes en la construcción del conocimiento científico. Dado, como afirmamos en la Introducción, que la concepción semántica fue la que inició este viraje hacia los modelos científicos, se vuelve insoslayable contemplar los alcances de dicha perspectiva. En este sentido, para dar relevancia al objeto de estudio de la presente tesis, intentaremos explicar por qué el principal rasgo distintivo que caracteriza a la concepción semántica es el haber instituido a la representación como el mecanismo teórico primordial para

fundamentar el carácter empírico de las teorías científicas. El espíritu de este trabajo, empero, no se forja como una propuesta refutatoria de la concepción semántica. Lejos está en el espíritu de esta tesis entablar una conversación en estos términos. Por el contrario, intentaremos demostrar que, así como para algunos partidarios de la concepción semántica, la concepción sintáctica “no es que esté mal sino que es muy simple” (Suppes 1967, p.57), del mismo modo consideraremos, a la luz de ciertos modelos en química, que la concepción semántica no es que esté mal sino que también se muestra simple y parcial.

- En el marco de la nueva concepción modelística, la perspectiva representacionista ha cobrado una inusitada adhesión. A excepción de algunos pocos autores la ortodoxia filosófica actualmente considera que la característica principal de los modelos radica en su capacidad para representar los sistemas. Sin embargo, a pesar de semejante unanimidad, no se ha brindado una caracterización clara y común en torno a la noción de representación. En este sentido, el segundo objetivo será analizar críticamente, evaluando virtudes y desventajas, las diferentes posturas instituidas en torno a tal concepto. En sintonía con lo expresado en el primer objetivo, intentaremos mostrar que los límites y las dificultades que la concepción semántica encontró en la noción de interpretación defendida por los partidarios de la concepción sintáctica se replican de igual modo en la noción de representación.
- Para fortalecer las críticas hacia la concepción representacionista como instancia para entender la dinámica del proceso del modelado, como tercer objetivo examinaremos el problema que supone para el representacionismo la existencia de modelos incompatibles. Explicaremos que los modelos incompatibles se vuelven trascendentes en el contexto de la química, dado que estos no se presentan en áreas de investigación secundarias o laterales, sino en relación con conceptos sustanciales de esta disciplina. En este sentido, analizando la incompatibilidad existente entre los modelos de electronegatividad por un lado y los modelos de enlace químico por otro, intentaremos robustecer, en detrimento de la perspectiva representacionista, una concepción instrumentalista del conocimiento científico en química. Es decir, en relación al primer binomio modelo-sistema target, analizaremos ciertos modelos incompatibles que ponen en cuestión, en un sentido radical, la noción misma de representación. Este análisis

permitirá abordar la posibilidad de pensar la producción del conocimiento científico desde una perspectiva que desarticule el imaginario fuertemente enraizado que considera que el conocimiento desarrollado por la ciencia depende de la capacidad representativa que tienen los elementos cognoscitivos por ella generados. Para ello en primer lugar analizaremos críticamente la concepción perspectivista de los modelos científicos. Esta concepción supone que, estrictamente, el carácter parcial de la representación y de los modelos atenta contra la efectiva existencia de los modelos incompatibles. En este sentido identificaremos cuáles son los particulares constreñimientos que esta perspectiva impone para que la incompatibilidad no sea meramente aparente y concluiremos que los modelos presentados cumplen con tales requisitos.

- El cuarto objetivo será analizar las propuestas representacionistas no semanticistas que podrían dar cuenta del carácter representacional de los modelos. Para ello estableceremos que ni los diferentes pluralismos científicos ni la concepción inferencial sobre la representación resultan satisfactorios para explicar los modelos incompatibles. En relación con el pluralismo, diremos que o bien es rudimentario, o bien no difiere del instrumentalismo, o bien no resulta adecuado para explicar los casos de incompatibilidad específicos que se analizarán en esta tesis. En relación con la perspectiva inferencial, luego de explicar, contra Contessa, por qué la representación tiene que estar asociada con los razonamientos subrogantes sólidos, se mostrará que la concepción inferencial de Suárez tampoco resulta fructífera ya que deviene irrelevante, inestable o no explicativa.
- Un quinto objetivo será mostrar que el injustificado descrédito en que ha caído el instrumentalismo durante los últimos 50 años se debe a un falaz recurso argumentativo que lo asocia con las peores tesis del positivismo lógico. En este sentido, explicaremos las nuevas versiones instrumentalistas y mostraremos por qué un instrumentalismo renovado puede obviar las críticas tradicionalmente vertidas contra él, despegándose de los presupuestos más conflictivos del positivismo lógico.
- El sexto objetivo será analizar, en el contexto del segundo binomio modelo-teoría, el problema en torno a la dependencia o independencia de los modelos respecto de las leyes fundamentales de las teorías científicas. En relación con este tema, abordaremos el análisis del modelo de los hermanos London sobre la superconductividad, alrededor del

cual ha girado la mayor parte de las discusiones. La primera conclusión parcial será que la discusión entre los nuevos semanticistas y los partidarios de la denominada concepción toolbox de las teorías científicas se encuentra en una suerte de impasse, debido, entre otras cosas, a los desacuerdos existentes en torno a las consecuencias epistémicas de una independencia relativa y temporal unánimemente aceptada por los protagonistas de la discusión. Plantearemos que el caso de la superconductividad no sirve para dirimir el problema en torno de la dependencia o no de los modelos respecto de los respectivos marcos teóricos. Acto seguido plantearemos que la química se muestra como un campo disciplinar sumamente fructífero para poner de manifiesto que la independencia de los modelos respecto de los marcos teóricos de referencia no es meramente relativa o histórica, sino que se trata de una independencia esencialmente conceptual. Para cumplimentar este fin nos abocaremos a analizar los modelos moleculares en química cuántica, especificando las particularidades de la denominada aproximación Born-Oppenheimer (1927). Evidenciar la existencia de modelos en los que convergen constructivamente principios teóricos incompatibles nos permitirá concluir que la independencia conceptual de los modelos respecto de las teorías, habilita a pensar, por un lado, los modelos como mediadores autónomos y, por el otro, los principios fundamentales de las teorías científicas como instrumentos útiles para la configuración de los modelos.

Estructura del trabajo

Con el fin de cumplimentar los objetivos recientemente planteados, esta tesis fue estructurada del siguiente modo. En el Capítulo 1 presentaremos el estado de la cuestión en relación con el modo en que el devenir de la filosofía de la ciencia fue configurando la actividad de modelado. En este sentido, comenzaremos por explicar las tesis fundamentales de la concepción semántica, a través de la identificación de sus ventajas relativas que esta perspectiva filosófica respecto de su inmediata antecesora, la concepción sintáctica de las teorías científicas. En segundo lugar, expondremos las críticas que se han formulado contra esta famosa tradición filosófica, y ello nos servirá para identificar el eje temático principal en el que se inscribe esta tesis.

Los Capítulos 2, 3 y 4 estarán íntegramente dedicados a analizar críticamente el problema de la representación involucrado en el binomio modelo-target. Específicamente, en el **Capítulo 2** nos adentraremos de lleno en la arenosa discusión en torno al modo en que fue caracterizada por las distintas corrientes de pensamiento la noción de representación. Pasando revista las tradiciones más relevantes, identificaremos, mediante críticas propias y ajenas, los problemas principales que aquejan a cada una de las propuestas que intentaron elucidar los alcances de esta noción. Al final de este capítulo brindaremos una caracterización propia del modo en que creemos debe ser entendido este concepto.

En el **Capítulo 3** presentaremos los modelos incompatibles como el principal elemento disruptivo de cualquier concepción representacionista. Luego de explicar la incompatibilidad entre los modelos de Pauling, Mulliken y Allred-Rochow sobre la electronegatividad y los modelos de enlace de valencia y orbital molecular sobre los enlaces químicos, analizaremos críticamente una de las perspectivas en boga en la actualidad: el perspectivismo. En este capítulo demostraremos que esta tradición no cuenta con los recursos teóricos necesarios para explicar los modelos incompatibles presentados. Confiando en que los argumentos aquí brindados hayan sido concluyentes para desacreditar esta tradición, y en vistas de poder fundamentar una perspectiva instrumentalista de los modelos científicos, en el **Capítulo 4** analizaremos si las perspectivas pluralistas (ya sean en su versión metafísica, epistémica u ontológica) o la concepción inferencial de Mauricio Suárez podrían configurarse como alternativas legítimas. En el último apartado de este

capítulo, intitulado “¿Quién le teme al instrumentalismo?”, explicaremos por qué la perspectiva ficcionalista o bien no dista en demasía del instrumentalismo o bien no resulta una propuesta atractiva para explicar el proceso de modelado. Por último haremos un análisis crítico de las diferentes y nuevas corrientes instrumentalistas que se han desarrollado en los últimos tiempos y explicaremos por qué la corriente instrumentalista propuesta por Sober se muestra como la más eficaz para explicar la dinámica científica.

El **Capítulo 5** de la tesis estará abocado íntegramente a elucidar el binomio modelo-teoría, en particular analizaremos el problema de la dependencia o independencia de los modelos respecto de las teorías. Para ello, en primer lugar explicaremos el carácter teórico dominante de la concepción semántica. Luego explicaremos la discusión en torno del modelo de los hermanos London con el objeto de mostrar un *impasse* entre los protagonistas en disputa que evidencia que el caso, si bien ampliamente discutido, no resulta eficaz para dirimir la disputa. Como estrategia propositiva en favor de una independencia conceptual que justifique una perspectiva instrumentalista y autonomista de los modelos y los principios teóricos involucrados en ellos, introduciremos el caso de los modelos moleculares como un modelo superador que aboga en favor de la denominada concepción *toolbox* de las teorías científicas.

Capítulo 1

La noción de modelo en ciencia

Resumen: Este capítulo intentará recuperar las tradiciones más relevantes de la actualidad respecto de los modelos científicos, con el objetivo de establecer el estado de la cuestión en relación con la función que cumplen los modelos en el proceso de producción del conocimiento científico. Esta presentación será una presentación escolástica pero, espero, no intrascendente. Un análisis de la concepción semántica, identificando sus pretendidas ventajas y los efectivos alcances de esta propuesta, no solo permitirá esclarecer las ideas fundamentales de esta corriente, sino también el contexto teórico en el cual se inscribe la presente tesis. En este sentido, el estudio comparativo con su inmediata antecesora, la concepción sintáctica de las teorías científicas, permitirá resaltar lo que aquí se considera como el aspecto distintivo, y si se quiere disruptivo, que esta tradición logró imponer en las discusiones actuales sobre el proceso de modelado: la función eminentemente representativa de los modelos científicos. Si este primer objetivo resulta satisfactorio, es decir, si, en discrepancia con el modo en que popularmente esta perspectiva se presenta, se logra poner en evidencia que lo fundamental de la concepción semántica no es tanto refutar la concepción enunciativa de las teorías científicas sino instituir, como una consecuencia que se desprende de este rechazo, los modelos como estructuras abstractas destinadas a *representar* los fenómenos del mundo, entonces hemos realizado un primer paso para justificar la importancia del objeto de estudio de la presente tesis. Paralelamente, cuando en la Sección 1.2 se presenten las primeras voces disidentes contra la concepción semántica, el objetivo no será, como no lo es en ningún sentido el objetivo de esta tesis, ni tomar una posición específica en favor de las críticas ni suponer que se ha logrado desmontar la concepción semántica, sino, simplemente, establecer los distintos límites conceptuales que presenta esta postura con la finalidad de identificar el ámbito en el que se inscribirán las críticas que se desarrollarán en esta tesis. De este modo, cuando en la Sección 1.3 se introduzca la nueva concepción que entiende los modelos como mediadores autónomos, sentaremos el marco interpretativo en el que cobran sentido las propuestas teóricas que se formularán en este trabajo. Pero, para que la propuesta sea franca, estamos obligados a

considerar las respuestas que *la nueva concepción semántica* establece para contrarrestar las réplicas que serán presentadas en las Secciones 1.2 y 1.3. Confiamos que todo esto coadyuvará a que se introduzcan del modo más fiel posible las líneas de investigación más relevantes que serán abordadas en el desarrollo del cuerpo de esta tesis. Por último, en la Sección 1.5, se harán algunas reflexiones en torno a cómo en la bibliografía filosófica se interrelacionan de un modo constructivo y no lineal las nociones de ‘realismo’, ‘antirrealismo’, ‘representación’ e ‘instrumentalismo’.

1.1 La concepción semántica

Cualquier tratado sobre modelos está obligado a comenzar con una caracterización de lo que ha sabido denominarse “concepción semántica” (de aquí en adelante, CS). La razón de esta necesidad se debe a dos factores. En primer lugar, CS ha cimentado las bases para el desarrollo de una filosofía sobre los modelos. Pero, en segundo lugar y fundamentalmente, porque, como muchos autores reconocen, en la actualidad CS prácticamente se ha constituido como la ortodoxia filosófica. En efecto, ya a fines de los ochenta Suppe afirmaba que “la concepción semántica de las teorías hoy en día es probablemente el análisis filosófico de la naturaleza de las teorías más difundido entre los filósofos de la ciencia” (Suppe 1989, p. 3). Portides (2005) ratifica esta sentencia 15 años más tarde al sostener que “no es de extrañar que este punto de vista pueda considerarse hoy en día la ortodoxia sobre la naturaleza y función de las teorías y modelos científicos.” (Portides 2005, p. 1287).

Sin embargo, esta alta adhesión generada por CS no se ve reflejada en un conjunto de tesis claras y distintas. Es suficiente superar el slogan semanticista y sumergirse dentro de la bibliografía acerca del tema para empezar a naufragar en las siguientes dudas: ¿las teorías científicas se *identifican con* o se *presentan mediante* sus modelos?; ¿los modelos *se reducen* o *se presentan* a partir de las estructuras formales?; si las teorías científicas se identifican con el conjunto de sus modelos ¿cómo diferenciar leyes fundamentales de modelos? ¿O acaso la noción de teoría y de ley colapsa con la noción de modelo? Esta especie de desconcierto inicial es aceptado incluso por un defensor de CS como Cunningham, quien, en su artículo “To save the semantic view” (2008), afirma que la dificultad radica en que esta perspectiva carece de un *locus classicus*, ya que no tiene un

único fundador en un tiempo específico sino que se fue conformando, a partir de diferentes afirmaciones, a medida que la propuesta se extendía por las filas de los filósofos. Asimismo, reflejando dramáticamente lo antedicho Krause, Arenhart y Moraes aseveran que “hoy en día, el enfoque semántico es más una etiqueta que congrega a un gran número de filósofos de diferentes orientaciones que un programa unificado de investigación; sin embargo, mantenemos este nombre porque se usa ampliamente en la bibliografía” (Krause, Arenhart y Moraes 2011, p. 364).

Estas diferentes orientaciones que atentan contra un programa unificado de la CS se manifiestan en dos niveles. En un primer nivel, relacionado con los compromisos ontológicos adoptados, habitan posturas de tipo realista, como la de Giere; posturas cuasi-realistas, como la de Suppe; posturas pragmatistas, como las de French, da Costa y Ladyman; o incluso anidan posturas antirrealistas, como el constructivismo empirista de van Fraassen y el instrumentalismo de Sneed. Desde un segundo nivel metodológico, existen diferentes líneas de desarrollo al interior de la denominada familia semanticista, en función del modo en que conceptualizan la noción de modelo o el tipo de vínculo pretendido entre modelo y sistema. En este sentido, al interior de la tradición formalista podemos encontrar tres posturas no contrapuestas. Una primera postura, desarrollada por Suppes (1962, 1967, 2002), y la concepción estructuralista (Balzer, Moulines y Sneed 1987; Sneed 1971; Stegmüller 1979), establece la relación entre modelo y sistema en términos de subsunción. De este modo, definen los modelos a partir de la teoría de conjuntos mediante predicados conjuntistas que, simplifícadamente, tienen la forma “ x es un modelo de la teoría... $\text{syss}_{\text{def}} \varphi(x)$ ”, donde φ expresa las condiciones que debe satisfacer el modelo para ser modelo de la teoría. La segunda postura, desarrollada por van Fraassen (1980, 1987, 1989), utiliza como marco conceptual de referencia el espacio de *fase o estado* y la noción de isomorfismo. Desde este punto de vista, un modelo es una entidad matemática que representa las trayectorias posibles de un sistema físico en un espacio de estados en función de las constricciones impuestas por las leyes de coexistencia y las leyes de sucesión de una teoría que determinan, respectivamente, los estados simultáneos de un sistema en un instante dado y su posible evolución en el tiempo (para más detalles, ver van Fraassen 1970, 1989). La tercera y última postura formalista, que tiene como exponentes contemporáneos a French, da Costa, Bueno y Ladyman (French y Ladyman 1998, 1999; da

Costa y French 2000, 2003; Bueno, French y Ladyman 2002; French 2003, 2013, 2017) , concibe, tal y como veremos con mayor precisión posteriormente, los modelos y sus relaciones a partir de la concepción de estructuras parciales. Por último, casi en soledad, Giere (1999, 2006a), alejándose del análisis formalista, promueve un análisis metodológico informal, donde un modelo es entendido en sentido amplio como una entidad abstracta que mantiene una relación de similitud con aquello que representa.

Ahora bien, lo recientemente explicado no implica, sin embargo, que las diferencias metodológicas, las diferencias respecto de los compromisos ontológicos o las dudas formuladas con anterioridad, atenten contra el natural convivir de la familia semanticista. Más que propuestas en lucha por la conquista del frente semanticista, parece haber simplemente diferencias respecto de ciertos tópicos que no vulneran los lazos de consanguinidad. Esto se debe a que, independientemente de estas disímiles líneas de investigación, existe un núcleo programático de posiciones que se articulan alrededor de dos ítems que configuran el ADN semanticista. El primero adopta un cariz de tinte negativo, ya que se expresa a partir del rechazo de su antecesora, la concepción sintáctica. El segundo ítem identitario, fuertemente propositivo, asume que las teorías científicas deben ser caracterizadas en términos de una familia de modelos.

La tesis negativa, que se expresa mediante el rechazo de la concepción sintáctica, cobra relevancia en tanto que explica la novedad y entusiasmo que generó CS. Tal como suele presentarse en la bibliografía vinculante, para comprender de un mejor modo el núcleo conceptual de CS, se vuelve imprescindible contraponerla con la concepción sintáctica. Esta perspectiva (conocida también como concepción enunciativa), desarrollada a principios del siglo XX en el contexto del positivismo lógico, consideraba que una teoría científica es un sistema axiomático interpretado. En tanto sistema axiomático, es un conjunto de símbolos sin significado ordenados deductivamente. Se evidencia aquí el carácter enunciativo ínsito a esta perspectiva: una teoría es un conjunto de enunciados, denominados teoremas, que se deducen de otro número reducido de enunciados, los axiomas. (cfr. Carnap 1937b, 1939, 1967; Ayer 1959; Hempel 1970, 1979). Las teorías científicas, concebidas desde este aparato lógico-conceptual, requieren, a los fines de adquirir contenido empírico, una semántica que brinde una interpretación, mediante reglas de correspondencia, a los signos lógicos del sistema. Cuando estas interpretaciones

establecen enunciados verdaderos, se obtiene en este contexto un modelo del sistema. Bien comprendida, la concepción sintáctica no plantea que una teoría científica queda reducida, tal como suele difundirse, al conjunto de sus axiomas, dado que, en este contexto los términos teóricos son parcialmente interpretados mediante reglas de correspondencia. Es decir, desde esta concepción, una teoría científica está fragmentada en dos partes complementarias y constituyentes. La primera parte contempla el aspecto formal mediante un aparato lógico que incluye, además de un vocabulario y una estructura lógica, algunos de los términos teóricos de la teoría. La segunda parte, en cambio, se compromete con el pretendido contenido empírico de la teoría, asignando una interpretación empírica al cálculo lógico mediante definiciones parciales que conectan los términos teóricos con los términos empíricos (Suppes 1967). Esta caracterización bifronte evidencia cuán desatinado resulta interpretar la perspectiva brindada por los positivistas lógicos como una concepción puramente sintáctica. La dicotomía nominal propuesta por la bibliografía entre concepción *sintáctica* versus concepción *semántica* resulta injusta y parcial: ni la primera carece de un fuerte componente semántico, en tanto que precisamente las reglas de correspondencia, siendo uno de los componentes de la teorías, brindan una interpretación de los términos teóricos (Chuang 1997; Lutz 2014b), ni la segunda prescinde de la sintaxis porque, o bien las teorías científicas siguen pensándose con un fuerte componente lógico-formal, o bien porque, a decir de algunos críticos, no logra desprenderse del aspecto lingüístico (cfr. Halvorson 2013; Lutz 2017; Giere 2000).

Pero si la concepción sintáctica también es semántica ¿en qué se diferencian y qué propone CS? Giere (2000) plantea que la distinción ‘enfoque semántico’ versus ‘enfoque sintáctico’ debe ser abandonada como un resabio de viejas discusiones, en pos de una diferenciación que preconice que mientras el primer enfoque instituye los modelos como elementos articuladores del conocimiento, el segundo instituye como tales a los enunciados, en particular, a las leyes fundamentales de las teorías. En efecto, en tanto que la concepción sintáctica define una teoría en términos de un sistema axiomático interpretado, el modelo se constituye simplemente como aquella interpretación, dada por las reglas de correspondencia, que satisface los axiomas de la teoría. Los modelos, concebidos como meras instancias interpretativas, se instituyen, en la concepción sintáctica, como anexos estéticos o didácticos prescindibles en la producción del conocimiento científico, sin ningún

tipo de significado adicional (cfr. Carnap 1939; Braithwaite 1962; Achinstein 1965; Adúriz-Bravo 2013).

Precisamente contra esta caracterización se erige CS. En principio los partidarios de CS afirman que una teoría científica es una entidad extra-lingüística. Es decir, no se define como un conjunto de enunciados sino a partir de la clase de sus modelos. En términos de van Fraassen “presentar una teoría es especificar una familia de estructuras, sus *modelos*; y en segundo lugar, especificar ciertas partes de esos modelos como candidatos para la representación directa de fenómenos observables.” (van Fraassen 1980, p. 89). A juzgar por la cita se podría aseverar que los semanticistas segmentan las teorías de un modo diferente a los sintacticistas. Mientras que, como dijimos, para los partidarios de la concepción sintáctica una teoría se compone por el par sistema axiomático-reglas de correspondencia, para CS una teoría se compone por el siguiente par: un set de modelos y la postulación de algún tipo de mapeo que garantice la representación. Al definir que una teoría se presenta mediante la clase de sus modelos, los semanticistas pretenden enfatizar que una teoría no se identifica con el conjunto de axiomas que permite deducir los teoremas correspondientes, sino con aquello que afirma respecto de ciertos “trozos de la realidad” (Díez Calzada 1997, p. 46)

Precisamente, para los proponentes de CS, presentar las teorías científicas a partir de la clase de sus modelos tiene una serie de ventajas relativas. La enumeración de estas ventajas y el posterior análisis de sus alcances, permitirá precisar aún más las características propias de CS.

1.- Una de las principales ventajas popularmente promulgadas en la bibliografía, y gracias a la cual se impuso la idea que era imperioso abandonar la perspectiva sintáctica, puede leerse en la obra de Suppe *The Structure of Scientific Theories* (1977). En ella el autor afirma que es inadecuado adoptar una concepción enunciativa de las teorías científicas dado que una misma teoría puede ser formulada de un modo equivalente mediante diferentes formalismos. El inconveniente de asociar la noción de teoría con sus enunciados se pone de manifiesto en que se tendría, absurdamente, que aceptar que estas diferentes enunciaciones constituyen, de hecho, teorías diferentes. Es decir, al identificar una teoría con el conjunto de los axiomas, ante dos formulaciones axiomáticas diferentes se tendrían dos teorías diferentes. Y esto, como muestra Suppe, sencillamente no es cierto. La importancia que

tiene este problema en la historia de la filosofía de la ciencia se muestra en que, a decir de van Fraassen, el mismo se configuró como el pecado original que condenó, desde sus inicios, a la propuesta sintacticista al fracaso: “En cualquier tragedia, sospechamos que un error crucial se cometió desde el mismo principio. Creo que el error fue confundir una teoría con la formulación de una teoría en un lenguaje particular.”(van Fraassen 1989, p. 221).

Como propuesta de solución, los semanticistas advierten que, cuando se propone una teoría, lo que se propone mediante los modelos es una estructura que, sin importar el modo en que ella se defina (en términos de teoría de conjuntos, como sistemas de relaciones, como estado en un espacio de las fases o con cualquier otro recurso formal), expresa siempre lo mismo: el comportamiento admisible de un sistema (cfr. Suppe 1989; van Fraassen 1989). Dado que lo relevante de una teoría es lo que afirma mas no cómo lo afirma, CS estipula que, frente a las diferentes formulaciones, lo único que importa es el conjunto de los modelos pretendidos que intentan dar cuenta del comportamiento de los fenómenos de estudio. La idea subyacente es que, dado que se presenta la teoría a partir de la clase de los modelos, y dado que es posible expresar los modelos mediante diferentes formulaciones sintácticas sin que ello repercuta en la identificación de la teoría, el lenguaje en el que se expresa ya no es relevante. Precisamente por esto es que las diferencias metodológicas previamente mencionadas en relación con el modo en que se definía la noción de modelo y sus relaciones, no atentaban contra el natural convivir de CS: al definir la teoría en función de la clase de los modelos pretendidos, es decir, en función de lo que asevera respecto del comportamiento de los fenómenos de estudio, hay una independencia absoluta respecto de cualquier peculiar forma lógico-sintáctica particular en que los modelos se presentan.

2.- La segunda ventaja aparente de CS respecto de la concepción sintáctica que impele, a juzgar por sus partidarios, el abandono de la segunda en favor de la primera, es la presunta cercanía de CS respecto de la práctica científica. La puesta en consideración de los modelos como elementos fundamentales y constitutivos de las teorías científicas pondría a la filosofía de la ciencia en un vínculo más estrecho con el efectivo desarrollo de la ciencia real (van Fraassen 1989; Klein 2013). En efecto, si bien algunas teorías, como la mecánica clásica de partículas o la mecánica relativista, podría llegar a ser axiomatizada bajo los

estándares requeridos por la concepción heredada (ver McKinsey, Sugar y Suppes 1953; Rubin y Suppes 1954), dicho análisis, para los partidarios de CS, no puede aplicarse en otros ámbitos científicos. Suppes (1967) en *What is a Scientific Theory* advierte, por ejemplo, que la mecánica cuántica, la termodinámica o incluso teorías propias del ámbito de la ciencias sociales difícilmente puedan ser axiomatizadas en una lógica de primer orden de un modo satisfactorio.

Asimismo, la ausencia de una mirada atenta a la práctica científica en la concepción sintáctica es narrada también en virtud del modo en que las teorías científicas ganan contenido empírico. En particular, el problema podría establecerse sobre dos ejes complementarios: la dificultad para establecer un criterio claro que pueda delimitar los términos teóricos de los términos observacionales y la dificultad para establecer una clarificación del carácter lógico de las reglas de correspondencia¹. Precisamente estas problemáticas son interpretadas por Suppe, en el apartado intitulado “The received view versus the semantic conceptions” en la obra *The Semantic Conception of Theories and Scientific Realism*, como un signo que evidencia la distancia existente entre la práctica efectiva de la ciencia y el positivismo lógico: “Nuestra consideración de la distinción observacional/teórico deja en claro que, aun si la distinción puede trazarse de una manera satisfactoria para los propósitos de la concepción heredada, las cosas serán excesivamente complejas. El hecho de que la ciencia se las arregle para seguir adelante sin involucrarse en tales complejidades sugiere que la distinción no es realmente requerida o presupuesta por la ciencia y, por lo tanto, es ajena a un análisis adecuado de las teorías científicas.” (Suppe 1989, p. 62). En síntesis, el diagnóstico realizado consistía en advertir que los científicos no formulan axiomas abstractos que luego son interpretados gracias a la derivación de las consecuencias observacionales obtenidas en función de las reglas de correspondencia, sino que construyen modelos, objetos abstractos, cuyas entidades y propiedades satisfacen los constreñimientos impuestos por las leyes de la teoría.

¹ No haremos aquí un análisis de los diferentes intentos que se han instituido para abordar el problema de las reglas de correspondencia. Es suficiente decir que el tránsito desde el operacionalismo y las definiciones explícitas hacia las definiciones parciales (nunca suficientemente bien definidas) rebajó el precio al programa sintacticista. Las dificultades para clarificar la noción misma de regla de correspondencia hundió a esta perspectiva en un terreno farragoso dado que ello no permitía explicar el modo en que se configuraba el contenido empírico de las teorías científicas. Para un análisis detallado ver Ramsey 1931; Carnap 1936, 1937a, 1956, 1966; Putnam 1962; Hempel 1970; Olivé y Pérez Ransanz 1989.

3.- Al cambiar la perspectiva de análisis desde un enfoque lingüístico hacia un enfoque modelístico, la CS sustituye, y con ello se desentiende, de toda la maraña generada por las intrincadas y problemáticas reglas de correspondencias. Es decir, los partidarios de CS consideraron que el gran equívoco que condujo a tal infecunda discusión fue creer que el vínculo en cuestión suponía un relación de interpretación del vocabulario teórico a partir de términos observacionales (Suppe 1989; Klein 2013). Ante semejante diagnóstico el objetivo de CS será formular una propuesta que permita iluminar aquello que “el tratamiento de las reglas de correspondencia oscurece”(Suppe 1989, pp. 64-65). Para ello, en lugar de poner el foco en la axiomatización de una teoría mediante el cálculo de predicados, CS propone definir la clase de los modelos pretendidos por la teoría en términos de estructuras y definir la relación en términos de representación. Precisamente definirse en términos no lingüísticos es lo que les permitiría disolver el problema generado en el contexto de la concepción sintáctica, y restituir el vínculo entre lo teórico y lo empírico mediante una relación más diáfana de representación definida en términos de mapeo (cfr. Landry 2007; Chakravartty 2001). En parte, lo que se intenta desde CS es reivindicar un modo más adecuado, sofisticado y atento de la práctica científica que el que proveía la concepción sintáctica, aseverando que los científicos no construyen enunciados sino modelos (cfr. Chuang 1997).

En resumen, se podría afirmar que el principal cambio conceptual instituido por CS es que, en lugar de apelar a las reglas de correspondencia para otorgar contenido empírico, cuando caracterizan las teorías científicas como familia de modelos transforman el análisis, ya que el vínculo con lo observado no se establece más en términos de interpretación, sino en términos de representación. La noción de representación, entonces, juega un rol clave en este contexto. Precisamente aquellos autores que critican la conveniencia de la distinción en términos de sintaxis versus semántica (Chuang 1997, 1998; Halvorson 2012, 2016; van Fraassen 2014; Lutz 2014b, 2017) afirman que lo peculiarmente distintivo no es tanto la dicotomía sintáctico-semántico sino la dicotomía interpretación–representación. Mientras que la concepción sintáctica, al instituir el vínculo en términos de interpretación, establece una relación entre elementos de distinta clase ya que vincula símbolos con clase de objetos, la concepción semántica, al establecer el vínculo con lo observable en términos de representación, precisamente advierte que el enlace en cuestión se da entre objetos de la

misma clase: dos objetos abstractos entendidos como estructuras en ambos dominios (cfr. Lutz 2017)².

La importancia que adquiere la noción de representación en el contexto de la epistemología actual explica la razón de ser de gran parte de esta tesis. En efecto, en el Capítulo 2 evaluaremos las diferentes perspectivas sobre esta cuestión en vistas a elucidar si este cambio de parámetros arroja una mayor claridad conceptual en relación con el vínculo entre las teorías científicas y sus respectivos sistemas target. La intuición será que la noción de representación arroja tantos problemas como la noción de interpretación, y que, por lo tanto, esta distinción, que para muchos se constituye como lo característico de CS, no resulta tan prometedora como inicialmente se supuso.

4.- El cambio conceptual implicó también una refundación que, según los partidarios de CS, prometía ciertas ventajas relativas respecto de la clásica discusión epistemológica entre realistas y antirrealistas. Por un lado, la concepción heredada configura una imagen simplista al pensar el vínculo con lo real mediante cálculos no interpretados, que adquieren significado empírico mediante reglas de correspondencia sobre la base de una jerarquía deductiva entre los enunciados de la teoría. Ante a esto los semanticistas, al considerar las teorías científicas como entidades extra-lingüísticas, reformularon la problemática en términos de relaciones entre las estructuras de los modelos teóricos y los modelos de datos. Como consecuencia, la discusión se conduce sobre la base de nuevas terminologías. Las nociones de “deducción”, “referencia”, “sentido” y “definición” o bien en algunos casos son definidas más precisamente mediante la semántica formal de Tarski (cfr. Halvorson 2016), o bien son simplemente reemplazadas, por vetustas o erradas, por nociones como “inclusión”, “función”, “mapeo” y “representación”: “Pero si abandonamos los análisis estándar de la verdad y la referencia, junto con la noción de una ley de la naturaleza, ¿qué recursos quedan para expresar una noción útil de realismo? Lo que queda, creo, es una

² La centralidad que tiene la noción de representación como sustituto de la noción de interpretación se evidencia en que, para uno de los padres fundadores de CS (Suppe 1989), la perspectiva estructuralista defendida por autores como Sneed, Stegmüller, Balzer y Moulines precisamente no pertenece a la misma familia debido a que contiene resabios propios del espíritu de época de los positivistas lógicos por el hecho de continuar con toda una tradición que se preocupa por establecer, en el contexto las teorías científicas, la distinción y el vínculo entre términos teóricos y términos observacionales. (cfr. Suppe 1989, 2000; Chuang 1998. Para una defensa de la concepción estructuralista en relación a su consanguinidad con la familia semanticista, ver Lorenzano 2013).

noción más general de representación.” (Giere 1999, p. 25).

En este sentido, mientras que la visión sintáctica, desde una perspectiva hipotético-deductiva, proponía una relación de implicación entre los elementos constitutivos en el proceso de contrastación, la perspectiva semanticista introduce la relación desde nuevos elementos lógicos vinculados con la concepción modelo-teórica: modelos teóricos que, relacionándose en términos de inclusión con la estructura de la teoría, establecen una relación de mapeo estructural sobre la base de algún morfismo con los modelos de datos, construidos, a su vez, sobre la base de hipótesis auxiliares, diseños experimentales y los datos provenientes de la experimentación (*raw data*) (cfr. Suppe 2000; Portides 2005). Precisamente este énfasis en los modelos y, en particular, en los modelos de datos, condujo a su vez a repensar la discusión entre realistas y antirrealistas en función de algunos aspectos que no habían sido considerados por la vieja escuela: el problema en torno a las idealizaciones y los problemas relativos al diseño experimental, el análisis de datos, y el análisis de los instrumentos (cfr. Chuang 1998; Cunningham 2008, 2013; Suppe 2000). En efecto, la técnica del modelado, en particular las asunciones falsas que se introducen en el contexto de las idealizaciones, pone en cuestión el supuesto realista respaldado por el argumento del no milagro, según el cual la mejor explicación del éxito predictivo de la ciencia es su cercanía con la verdad. Las idealizaciones, suposiciones que se asumen como falsas y que resultan sumamente predictivas, evidenciarían exactamente lo contrario. Frente a esto, la discusión redefinió nuevas posturas en juego: cuasi-realistas o realistas modales, para quienes los modelos científicos muestran cómo se comportarían los fenómenos si el mundo fuera tal y como prescribe el modelo (Suppe 1989; French 2014), versus posturas ficcionalistas, tradicionalmente de tinte no-realista o agnóstico, de acuerdo con las cuales los modelos proveen ficciones útiles que nos permiten comprender el mundo de un modo análogo al que lo hacen las artes (Vaihinger 1911; Fine 1993; Frigg 2010; Suárez 2009b, 2010a; Toon 2010 –retomaremos esta discusión más adelante–).

1.2 Las primeras voces disidentes

A pesar del entusiasmo y el grado de adhesión que generó CS, llegando incluso

prácticamente a privar al positivismo lógico de cualquier legitimidad filosófica³, algunas voces disidentes se instituyeron a partir del nuevo milenio desde diferentes perspectivas. Como mencioné en la Introducción, aun cuando se tratará de evidenciar los límites de CS, la presente tesis no pretende constituirse sobre la base de una postura francamente anti-semanticista. En este sentido, en los párrafos siguientes se recuperarán sucintamente algunas de las críticas que se desarrollaron recientemente con objeto de identificar los alcances y parte de los objetivos de esta investigación. Para ello recuperaremos las ventajas presentadas al final de la primera sección y evaluaremos las críticas que se han instituido en la bibliografía reciente.

Ventaja 1: “Las teorías científicas no son entidades lingüísticas y no deben identificarse con alguna de sus formulaciones”

Aunque suele repetirse este salmo como una condena mortal a la concepción sintáctica y como la razón de ser del cambio de perspectiva, lo cierto es que recientemente algunos pocos autores (Lutz 2012, 2014b, 2017; Barret y Halvorson 2016; Halvorson 2016) se animaron a defender la concepción sintáctica aduciendo que la crítica en cuestión no sería fatal. En definitiva, la legitimidad de esta crítica depende de cuán independiente puede ser la concepción sintáctica del lenguaje. Para algunos autores (Halvorson 2016; Lutz 2017), no solo la concepción sintáctica no afirma que el modo en que se formula una teoría sea una característica esencial a ella, ya que aun en esta concepción las teorías se identifican cuando son descritas por enunciados equivalentes (para una definición de las relaciones de equivalencia entre enunciados, ver Andréka, Madarász y Némethy 2005 y Glymour 2013), sino que ni siquiera sería adecuado asociar en este contexto la concepción sintáctica con una concepción enunciativa. En efecto, Halvorson (2016) afirma que es un error considerar que, de acuerdo con la concepción heredada, las teorías científicas son entidades lingüísticas. Sin descifrar el origen de semejante sentencia instituida por parte de los semanticistas, infiere que dicho juicio adviene producto de una incomprensión respecto del

³ Chuang, por ejemplo, en uno de los dos artículos donde revisita las estrategias confirmacionistas legítimas al interior de CS, declara: “Algunos pueden argumentar que ese es el trabajo de los oponentes, pero aquí está el truco. ¿Hay alguien que se oponga a la visión semántica? Estoy seguro de que hay algunos que se muestran escépticos al respecto, pero nadie parece oponerse porque no hay una posición opuesta plausible que adoptar. Ningún filósofo serio hoy puede defender la visión sintáctica.” (Chuang 1997, p. 148).

alcance que tenía la noción misma de “sintaxis” para los epistemólogos del siglo XX. Según Halvorson, lo que se conoce actualmente como la perspectiva modelo-teórica habría sido también considerada como sintáctica, ya que en aquella época el énfasis por lo sintáctico no era más que un énfasis por lo matemático. En este sentido reconstruye como una ficción enormemente difundida la acusación respecto de que la concepción heredada confunde la noción de teoría con la formulación específica que la misma pueda adquirir, afirmando que “la incapacidad de distinguir entre teorías y formulaciones teóricas es simplemente una incapacidad para comprender los recursos de la lógica simbólica. Todo lo que se necesita para hacer esta distinción es una noción apropiada de «formulaciones equivalentes», donde dos formulaciones son equivalentes en caso que expresen la misma teoría.” (Halvorson 2016, p. 589).

Por otro lado, Halvorson asevera que, aun si fuera cierta tal acusación, CS tampoco estaría exenta de similares dificultades. Sobre la base de una serie de equivalencias construidas a partir de una definición específica de isomorfismo diseñada por Halvorson, el autor argumenta, a partir de algunos “ejemplos de juguete”, que también el criterio impuesto por CS conlleva a identificar teorías diferentes y a diferenciar teorías idénticas⁴; por lo tanto, CS no logra superar, sino que, por el contrario, empeora, la situación planteada por la concepción sintáctica. Continuando con esta línea de investigación, Lutz afirma que CS, en su versión vanfraasseana, involucra similares dificultades respecto de las formulaciones equivalentes, ya que es posible describir la misma teoría científica desde diferentes espacios de fase o estados (cfr. Lutz 2017, p. 10). La única salida posible para tales infelices circunstancias sería introducir aspectos lingüísticos como elementos constitutivos de las teorías científicas. Pero, concluye Halvorson, “si se agrega el lenguaje a la concepción semántica entonces simplemente tenemos la concepción sintáctica” (Halvorson 2013, pp. 475).

En conclusión, frente a la supuesta ventaja relativa expuesta por parte de CS, Halvorson y Lutz, en solitario, se levantan en defensa de la concepción sintáctica, aduciendo que una adecuada noción de equivalencia entre conjuntos de enunciados permitiría dar cuenta de la

⁴ Para el primer punto, Halvorson presenta dos teorías T y T' que no son equivalentes pero contienen conjuntos de modelos –M y M' respectivamente– isomorfos. Para el segundo, muestra que diferentes formulaciones de la misma teoría tienen diferentes clases de modelos. Para un análisis detallado, ver Halvorson 2012.

identidad de una teoría con formulaciones distintas bajo el marco de dicha perspectiva. Para estos autores, la disputa se constituye sobre la base de posturas falazmente antagónicas: “En este punto, podría parecer que los enfoques semánticos no son más que enfoques sintácticos específicos que, a diferencia de los enfoques sintácticos en general, están ligados al uso del lenguaje de la teoría de conjuntos.” (Lutz 2017, p. 332).

Por supuesto que el entramado de críticas y réplicas incluye también las respuestas que brinda van Fraassen (2014). No será objeto de esta tesis emitir una opinión respecto de la problemática aquí instituida. La razón de ser de esta sección, además de examinar el alcance de CS respecto de su capacidad para resolver los problemas por ella misma planteados, radica en que permite poner una vez más sobre la mesa el papel preponderante que juega la representación en el contexto de CS. En efecto, van Fraassen advierte que, en tanto se considere el aspecto puramente matemático de los modelos, las situaciones formales que presenta Halvorson contra CS ya eran conocidas incluso con fenómenos reales como la difusión del gas y la distribución de la temperatura. En este sentido establece que la crítica se sustenta sobre la base de una inadecuada y parcial mirada de CS que deja de lado el aspecto representacional inherente al análisis de los modelos: “¿Es cierto que un modelo científico es una estructura matemática? Definitivamente. Un modelo es una estructura matemática en el mismo sentido que la Mona Lisa es una pieza de madera pintada. (...) Entonces, incluso si una teoría científica es un conjunto de modelos científicos, y estos son literalmente estructuras matemáticas, no se sigue que la identidad de una teoría pueda definirse en términos del conjunto correspondiente de estructuras matemáticas sin referencia a su función de representación.” (van Fraassen 2014, pp. 277-278). Es decir, a juicio de van Fraassen, el destinatario real de las críticas de Halvorson es una versión fragmentada y, por consiguiente, parcial de CS, ya que contempla solamente el aspecto matemático, reduciendo la noción de teoría a una mera clase de modelos y soslayando que para esta perspectiva una teoría se compone por una clase de modelos más una hipótesis teórica que instituye el vínculo con el contenido empírico mediante la función de representación. Precisamente el carácter representacional sería el aspecto a destacar de CS que garantizaría eludir los enredos filosóficos generados por concebir las teorías científicas en términos lingüísticos (cfr. van Fraassen 2014).

Ventaja 2: “La concepción sintáctica no contempla el efectivo desarrollo de la práctica científica ya que existen teorías científicas que no son susceptibles de ser axiomatizadas”

Existen en la bibliografía reciente dos estrategias diferentes y no necesariamente complementarias para abordar esta segunda aparente ventaja relativa de CS. La primera de ellas, que en tanto se constituye como una suerte de revisitación de la concepción sintáctica no será una línea de investigación que aquí nos interese, intenta axiomatizar aquellas teorías que, presuntamente a decir por los partidarios de la CS, no podrían ser formalizadas bajo estos estándares. La idea sería ampliar las bases de aplicación para que el juicio respecto de la simplicidad, parcialidad e inadecuación de esta concepción se desmorone.

En cambio, una segunda estrategia, seguida en primer lugar por Downes (1992) y luego continuada por autores como Portides (2005), Godfrey-Smith (2006), Weisberg (2007) y Krause y Bueno (2017), intenta, por el contrario, poner en pie de igualdad ambas perspectivas al advertir que, en todo caso, CS presenta la misma insensibilidad respecto de la práctica efectiva de la ciencia. En esencia, una de las críticas se constituye sobre la idea de que CS, tal como fue formulada por sus padres fundadores, es una concepción que no puede aplicarse a muchas de las más importantes teorías científicas ya que, entre otras cosas, o bien contiene una visión muy estrecha de la noción de modelo (Downes 1992), o bien no contempla prácticas teóricas que no involucran modelo alguno (Godfrey-Smith 2006, Weisberg 2007), o bien porque en algunas áreas, como en la física cuántica, no resulta inteligible cómo se podría hablar de *sus* modelos si ni siquiera puede presentarse como una teoría bien definida (Portides 2005; Krause y Bueno 2017). En este sentido, habiéndose constituido como un intento de explicación general de la naturaleza de las teorías científicas, termina configurándose como una explicación parcial aplicable solo a disciplinas específicas y altamente formales.

Downes (1992) continúa la línea originalmente desarrollada por Black (1962) y critica a CS por suponer que los modelos científicos de las ciencias empíricas, en franca analogía con los modelos de la ciencia formal, deberían ser entendidos en términos de estructuras matemáticas. Para los autores ni la noción de satisfacción propia de las ciencias formales ni la noción de isomorfismo como un intento para brindar un marco explicativo del carácter matemático de los modelos en el contexto de las ciencias fácticas logran dar cuenta de la

gran diversidad de referentes no reductibles del término ‘modelo’. Para tales fines Downes nos propone analizar diferentes libros de texto de diferentes áreas como biología, botánica o zoología, donde se desarrollan distintos modelos celulares. Sobre esta base concluye que, aun cuando puedan existir en el ámbito de la biología modelos matemáticos compatibles con la propuesta matemático formal de los semanticistas, es necesario rechazar cualquier perspectiva que imponga moldes estrictos en el proceso de construcción y configuración de los modelos científicos. Nos propone así abrazar una concepción sumamente deflacionada de CS, cuyo lema identitario se configure simplemente sobre la reivindicación de los modelos como un componente importante (aunque no único) del proceso de construcción del conocimiento científico⁵. Para el autor, este simple matiz es suficiente para marcar una línea de trabajo distintiva respecto de la concepción heredada.

¿Hasta qué punto es suficiente este énfasis en los modelos para instituir a CS como una metodología de análisis disruptiva y original? Ciertamente, puede considerarse que enfatizar el papel de los modelos por sobre las leyes entendidas en el contexto de un sistema axiomático, tal como lo hacía la concepción heredada, supone un marco de referencia más adecuado. Sin embargo, si este fuera todo el alcance de CS, la propuesta perdería originalidad dado que ya en 1955 von Neumann había afirmado que las ciencias apenas explican o interpretan, pues fundamentalmente producen modelos. Pero, a su vez, si “hay una tendencia, en la discusión más reciente, a tratar la visión semántica en sí misma como una especie de «gran carpa» donde casi cualquier entusiasmo filosófico por los modelos o el modelado se clasifica como parte de la misma tradición que Suppes” (Godfrey-Smith 2006, p. 726), parece natural sospechar que semejante perspectiva se vuelve tan inclusiva que casi cualquier modelo, independientemente de sus características, se vuelve un ejemplo o un elemento que contribuiría a engrosar las arcas de la concepción semántica. Si esto fuera así, no solo minimizaríamos CS, quizás arrastrándola a la insignificancia, y pasaríamos por alto las características distintivas que autores como Suppes, Suppe, van Fraassen supieron formular, sino que deberíamos incluir, como una consecuencia indeseada y contra-intuitiva, perspectivas anti-semanticistas, como la de Morgan y Morrison (1999) o incluso Knuuttila (2003, 2005a, 2005b), como formando parte

⁵ Para una perspectiva semanticista de los modelos en biología, véase Suppes (2002) y el análisis realizado por Lloyd (1998) en el que intenta dar cuenta de la estructura lógica de la teoría evolutiva analizando los modelos en términos de estructuras.

de CS. Dado que esto no sería correcto desde ningún punto de vista, entonces asumir una concepción deflacionista de CS no parece ser una opción prometedora.

Quizás teniendo esto en consideración es que Godfrey-Smith (2006) y Weisberg (2007) se alejan del deflacionismo estipulado por Downes y abrazan tesis fuertemente no semanticistas. En efecto, estos autores no se conforman con impugnar el sentido eminentemente lógico-matemático que supo adquirir CS, sino que, cuestionando su pretendida aplicabilidad universal, rechazan de plano la idea ampliamente difundida respecto de que CS, al asimilar las teorías con la clases de sus modelos, logra capturar un imagen fidedigna y cercana a la práctica científica. Para estos autores es incorrecto reducir la práctica de la teorización al acto de la modelización ya que los “modeladores” solo son una sub-cultura dentro del campo de la ciencia. Evidentemente, el alcance de esta crítica es mayor de aquella que fuera formulada por Downes, pues no se limita a deflacionar la noción de modelo ni cuestiona la tesis minimal que supone que CS simplemente afirma la relevancia de los modelos. Muy por el contrario, a contramano de lo que suele afirmarse actualmente, directamente niega que el acto de modelización monopolice la práctica científica. Mediante el análisis de casos en el ámbito de la biología y de la química, los autores en sus respectivos trabajos pretenden concluir dos afirmaciones complementarias. La primera juzga la absurda pretensión de CS respecto de que toda teorización deba interpretarse en términos de espacios de fase, ecuaciones o predicados conjuntistas. Esta es la moraleja más sencilla y fácil de extraer, sentencia Godfrey-Smith. La segunda es que la ciencia contiene en su campo de producción trabajos teóricos basados en modelos y trabajos que no se basan en modelos.

En este sentido y con vistas a especificar las diferentes prácticas científicas y, en particular, la práctica científica que CS no supo vislumbrar, estos autores aseveran que, mientras que los “modeladores” brindan una perspectiva representacional *indirecta* del mundo mediante la construcción de modelos análogos del sistema, existen otras instancias de teorización, denominadas por Weisberg ‘representación directa abstracta’, cuyo trabajo teórico no se basa en modelos. La diferencia principal radica en que, para el caso de la estrategia constituida sobre la base de modelos, el científico primero construye un nuevo e hipotético sistema que de hecho se constituye como primer objeto de análisis. Recién luego de comprender el comportamiento de este nuevo sistema construido se establece una

analogía con el fenómeno natural que primariamente se quería investigar. En cambio, en la estrategia donde se analiza el fenómeno sin mediación de modelo alguno, precisamente no se intenta comprender el fenómeno natural dando cuenta primero del modelo, esto es, comprendiendo un sistema hipotético diferente pero similar, sino que se intenta describir e identificar en forma directa las partes y el funcionamiento del sistema real.

Para argumentar en favor de esta distinción, Weisberg, en un artículo intitulado “Who is a modeler” publicado en 2007 (pero del cual Godfrey-Smith ya tenía conocimiento cuando escribe “The strategy of model-based science” en 2006), ejemplifica la estrategia basada en modelos con las explicaciones ideadas por Volterra para dar cuenta de la inusual escasez de ciertos tipos de peces en el Mar Adriático. En cambio, para ejemplificar la estrategia sustentada sobre una representación directa que no apela a modelos, considera la tabla periódica de Mendeleev. Por su parte, y con intenciones muy similares, Godfrey-Smith trabaja con dos libros clásicos del campo de la biología, *The Major Transitions in Evolution* de Maynard Smith y Szathmáry para caracterizar la primera estrategia y *The Evolution of Individuality* de Buss para la segunda. El trabajo de Maynard Smith y Szathmáry, para dar cuenta de diferentes transiciones evolutivas de la vida, indaga mecanismos casuales esquemáticos e idealizados que, en tanto objetos imaginados concretos, permiten explorar cómo se comportan o se comportarían mecanismos evolutivos posibles no reales en diferentes situaciones. Por el contrario, en el trabajo de Buss no hay lugar alguno para sistemas ficticios e idealizados, sino que se brinda un análisis amplio y detallado de las relaciones que, en efecto, directamente inciden para que se mantengan estables los individuos multicelulares. En este sentido, afirma Godfrey-Smith que “todo el lenguaje con el que la «visión semántica» analiza las teorías es completamente inaplicable a Buss. No hay espacio de estados, ni ecuaciones dinámicas, ni nada que se le parezca siquiera” (Godfrey-Smith 2006, p. 731). A su vez, aun cuando fuera posible reinterpretar dichos trabajos bajo algún enfoque alternativo al propuesto, de modo tal de ajustar dichas obras a los cánones lógico-matemáticos estipulados por varios de los partidarios de CS, eso no implicaría, afirma Godfrey-Smith, hacer una análisis de tales obras (y consecuentemente de la práctica efectiva de la ciencia) sino hacer de ellas algo absolutamente diferente.

Paralelamente, Weisberg asevera algo similar en relación con la tabla periódica de Mendeleev. Luego de argumentar y desacreditar el desprecio y desinterés que inicialmente

generaba la tabla periódica por considerársela un mero dispositivo clasificatorio y no teórico, el autor afirma que la tabla periódica se constituye como un caso de representación directa. Para ello explica que, en el proceso de configuración de la tabla periódica, Mendeleev realiza ciertas abstracciones para obtener las propiedades relevantes, pero no construye primeramente un modelo como objeto independiente con el fin de analizar sus diversas posibilidades. Por el contrario, está interesado en representar las tendencias reactivas de los elementos reales. En este sentido, para Weisberg no todo proceso de aproximación o abstracción supone necesariamente un proceso de modelización; la principal diferencia radica en que, mientras que “Mendeleev creó y estudió una representación de las propiedades de los elementos reales, Volterra (para explicar el fenómeno de los peces) creó y estudió representaciones de modelos matemáticos que eran similares a los fenómenos reales.” (Weisberg 2007, p. 216).

La legitimidad de esta estrategia y la noción misma de representación directa no será específicamente cuestionada en la presente tesis dado que el espíritu de esta no replica su dinámica. En efecto, las hipótesis que intentaré desarrollar aquí no se sustentan sobre la base de la distinción establecida por estos autores sino en afirmar que, contra Weisberg y Godfrey-Smith, aun cuando los modelos puedan caracterizarse efectivamente como articuladores principales del conocimiento científico, no hay lugar, como aseveraba Downes, para tesis deflacionistas ni minimales. Sin embargo, y a pesar de estas diferencias, la relevancia de esta sección es que, en espíritu, la tesis que desarrollaré sí debe entenderse en el contexto de estas críticas. Con este fin apelaremos a algunos modelos desarrollados en el ámbito de la química que difícilmente puedan articularse desde una perspectiva semanticista. En particular, intentaremos evidenciar que, en la práctica científica, se desarrollan modelos que no solo no son, en contra a CS, representativos, sino que, desde el marco teórico impuesto por Morgan y Morrison (1999), existen modelos que se mueven autónomamente dado que, al adoptar principios incompatibles, no se pueden considerar como parte de ningún marco teórico específico.

Un semanticista furibundo podría sentirse tentado a replicar que la crítica que alega la no aplicabilidad general de la CS resulta injusta, pues el propio Suppe se deshizo de ella de un solo golpe: “Las teorías que la concepción semántica analiza con éxito son importantes y centrales, pero no exhaustivas, de la ciencia. Aquellos que buscan impugnarlo alegando que

no tiene en cuenta toda la ciencia, o incluso todo el modelado en la ciencia, solo atacan sus propias fabricaciones.” (Suppe 2000, p. 113). Sin embargo, de querer adoptar una posición ecuánime, dado que de acuerdo a las propias palabras del autor la concepción sintáctica se mostraba deficiente ya que puede “demostrarse que hay ejemplos bien definidos de teorías científicas que no admiten la formulación canónica requerida” por ella (Suppe 1977, p. 60), entonces bajo el mismo espíritu crítico y debido a las mismas razones, habría que concluir lo mismo en relación con CS. Tanto el espíritu de las críticas instituidas por Weisberg, Godfrey-Smith, Downes y Krause, como las réplicas desarrolladas por Suppe, permiten apreciar el alcance y el propósito de las dudas que aquí presentaré respecto de CS. Como dijimos en los objetivos presentados al comienzo, parafraseando a Suppes, la idea es demostrar, sobre la base de una serie de casos científicos, que CS “no es que esté mal sino que es muy simple” (Suppes 1967, p.57).

Ventaja 3: “El contenido empírico de una teoría científica no se explica en términos de interpretación sino en términos de representación”

Como ha sido mencionado en el ítem tercero sobre las ventajas relativas de CS, la noción de representación (como sustituto de la noción de interpretación) parece jugar un papel clave en esta tradición. De hecho, como dijimos precedentemente, para algunos esta es precisamente una de sus características distintivas. En el fondo, lo que se supone desde esta perspectiva es que las dificultades generadas para establecer el sentido de las reglas de correspondencia y el vínculo entre elementos lingüísticos y elementos no lingüísticos pueden ser superadas cambiando el eje hacia una perspectiva representacionalista que establezca un vínculo entre objetos en términos de las estructuras compartidas.

Sin embargo, como veremos en el Capítulo 2, las dificultades conceptuales en torno a la noción de representación, y la incompreensión respecto de qué se constituye como el referente de la representación u objeto representado, se replican en un sentido similar a aquellos problemas que aquejaban a la concepción sintáctica.

En primer lugar, una de las primeras dificultades que tienen que atravesar aquellos que defienden una concepción estructuralista del representar es que, al igual a lo que sucedía en la concepción sintáctica, en tanto que lo que se intenta representar son ciertos fenómenos del mundo, representante y representado se constituyen como elementos de diferente clase (Frigg 2002; Suárez 2003; Cao 2003; van Fraassen 2006; Cunningham 2008; Frigg y Votsis

2011; Nguyen 2016): mientras que los modelos son estructuras matemáticas, los sistemas naturales que los modelos pretenden representar no son estructuras matemáticas de ningún tipo. En este sentido, la pregunta surge en torno a cómo es que ciertas estructuras matemáticas pueden representar aspectos del mundo que no son, de hecho, estructuras matemáticas. En palabras de Nguyen, el problema queda planteado del siguiente modo: “Todos los estructuralistas se enfrentan al problema de que los morfismos, por definición, solo se dan entre objetos matemáticos. Y muchos sistemas target, poblaciones animales, cuerpos celestes, etc., no son estructuras, al menos de una manera obvia. Las estructuras *set*-teóricas son entidades abstractas, matemáticas. Los sistemas target son físicos.” (Nguyen 2016, p. 172).

Esto coadyuvó a que las discrepancias al interior de CS se acrecentaran no solo en relación al modo de entender la noción de representación (haciendo que algunos partidarios abogaran por una perspectiva no formal de la representación), sino también respecto de aquello que se constituye como referente de la representación. Pues, en definitiva ¿qué se entiende por sistema target? La contraparte del modelo representante ¿es otro modelo o son los fenómenos que se aparecen? Lo representado por el modelo teórico ¿es un modelo de datos, un sistema ideal, lo efectivamente existente o lo meramente observado? Como es de suponer, diversas respuestas se han esgrimido. Mientras que para Suppe (1989) las teorías, con sus respectivos modelos, no representan directamente los fenómenos observables, sino sistemas ideales que en términos contrafácticos establecen cómo se comportaría el fenómeno si estuviera supeditado a las condiciones altamente idealizadas instituidas desde el modelo, van Fraassen (2008), por el contrario, en vistas de defender su antirrealismo, afirma que, en el proceso de contrastación establecido entre los modelos de datos o apariencias y los modelos teóricos, lo único que hay es una representación directa de los fenómenos observables. Por su parte, Giere (1988), con una impronta fuertemente realista, afirma que en efecto las teorías, con sus modelos, representan sistemas reales.

Dado que en la presente tesis dedicaremos todo un capítulo para evaluar los pormenores en torno al problema de la representación, elucidando con un mayor grado de precisión y detalle lo antedicho, baste por el momento lo aquí sugerido como una primera aproximación al problema en torno a si la sustitución del carácter interpretativo por el carácter representativo fue realmente tan prometedor como inicialmente se suponía.

Ventaja 4: “La concepción semántica refundó la clásica disputa entre realistas y antirrealistas sobre la base de una nueva y más prometedora terminología”

Suppe (2000), en “Understanding scientific theories: an assessment of developments, 1969-1998”, establece que “dado que las teorías son entidades extralingüísticas, las disputas entre realismo/instrumentalismo tuvieron que ser reformuladas. En la concepción semántica, los debates sobre el realismo se refieren a la naturaleza de las relaciones de mapeo entre la estructura de la teoría y el mundo” (Suppe 2000, p. 106). Efectivamente la discusión se configuró en términos de mapeo, ya que tanto las posturas realistas como las antirrealistas, aun discrepando respecto de las variables con las cuales se comprometen (entidades observables e inobservables los primeros y solo entidades observables los segundo), asumen la relación en términos de estructuras matemáticas compartidas.

Ahora bien, para algunos autores ello no contribuyó a una clarificación conceptual. Chakravartty (2001), por ejemplo, considera que CS o bien es enunciativa, es decir, o bien renuncia a identificar las teorías científicas con entidades extra-lingüísticas, o bien abandona el realismo. Es decir, de acuerdo con el autor, desde una concepción estrictamente no lingüística resulta imposible adoptar una perspectiva realista. La idea subyacente radica en que una perspectiva realista debe comprometerse con el hecho de que, aun cuando los modelos no sean propiamente verdaderos o falsos, sí los son las descripciones que se hagan de ellos. Para el autor, en la ausencia de este tipo de descripciones ningún realismo puede emerger, ya que las teorías no pueden decirnos nada del mundo al menos que lo digan, es decir, a menos que empleen el lenguaje. Y dado que una de las motivaciones de CS es adoptar una perspectiva modelística para escapar de las problemáticas concernientes al modo en que el lenguaje se relaciona con el mundo, argüir que el lenguaje es necesario pero no identificatorio de una teoría científica no parece suficiente para el autor: “He argumentado que, incluso si tomamos las teorías como modelos en oposición a los sistemas oracionales axiomáticos, ser realista requiere que interpretemos oraciones, que detallemos las formas en que las descripciones de los modelos corresponden a entidades y/o relaciones en el mundo” (Chakravartty 2001, p. 331). En este sentido, incluso si las teorías científicas no son verdaderas ni falsas pero sí las descripciones que obtenemos a partir ellas entonces, de acuerdo con Chakravartty, poco se ha ganado con CS. Para el autor resurgirían todos los problemas en torno a la noción de

verdad por correspondencia y de referencia que inicialmente, mediante un estrategia lateral que pretendía cambiar el eje de la discusión, se intentó evadir.

Análogamente, aunque desde una perspectiva no antagónica a CS, Chuang (1997, 1998) advierte que, quizás debido al impulso inicial y entusiasmo que supo generar Suppes, se terminó exagerando, en detrimento de CS, la independencia respecto del lenguaje. En este sentido, apunta el autor que no solo CS no parece presentar una perspectiva muy diferente en relación con el confirmacionismo dado por la concepción sintáctica mediante el método hipotético-deductivo, sino que incluso sería menester “tomar prestados algunos componentes de la visión recibida de la confirmación que, como dije antes, es esencialmente sintáctica (o derivada).” (Chuang 1998, pp. 116-117). En espíritu, para algunos autores (Lutz 2017; Borge y Lucero 2018), parece ser que esta fue, aunque no conscientemente, la estrategia de van Fraassen cuando, para contrarrestar la crítica denominada por él mismo como “la objeción de la pérdida de la realidad” (van Fraassen 2008, p. 258), abraza una perspectiva pragmatista del significado sobre la base de la indexicalidad y la referencia; recuperando en ese mismo acto viejos conceptos y viejos problemas.

1.3 Modelos como mediadores autónomos

En el contexto de esta discusión, y producto de los desafíos que se le presentaban a CS, surgió una nueva línea de investigación tendiente a caracterizar los modelos como mediadores autónomos independientes (Cartwright, Shomar y Suárez 1995; Lombardi 1998; Morgan y Morrison 1999; Suárez 1999a). Los partidarios de este enfoque aceptan que CS supuso un avance en tanto que confirió a los modelos un papel protagónico, y, en este sentido, a diferencia de lo que hicieron Lutz y Halvorson no pretenden criticar a CS reivindicando a la concepción sintáctica. Para estos autores, ambas propuestas, la semanticista y la sintáctica, encuentran su límite principalmente por haber interpretado los modelos como instancias de aplicación, simplificación o meras especializaciones de las leyes fundamentales de las teorías. Frente a este escenario, promueven una concepción donde los modelos se constituyen como auténticos mediadores por el hecho de que, activamente, establecen los lazos vinculantes entre la teoría y los datos, adoptando aquellos parámetros que, aun no siendo propios ni de las teorías ni de los datos, son fundamentales

para establecer tal relación. Solo entendiendo la noción de mediación desde una acepción no pasiva, es decir, interpretándola en términos de mediación activa en relación con el papel que cumple entre teoría y datos, es que puede entenderse la peculiaridad de esta perspectiva y diferenciarla de las concepciones tradicionales sobre la modelización. Tal como afirma Suárez (1999a), “es difícil ver cómo los modelos pueden ‘mediar literalmente entre la teoría y el mundo’ si la visión de los modelos como proveedores de la semántica de las teorías es correcta. Si los modelos son interpretaciones, o interpretaciones parciales, de teorías, en cierto sentido son supererogatorios” (Suárez 1999a, p. 171). Si la teoría define la clase de los modelos permitidos a través de sus leyes, no resulta claro cómo podrían ser mediadores, dado que en definitiva es la teoría la que los restringe. Si, por el contrario, se afirmara que las teorías *son o se reducen a* la clase de sus modelos, pues entonces ni siquiera podría darse la condición de posibilidad de toda mediación: la independencia. Para que sea posible una mediación, al menos tiene que haber una relación tricotómica entre elementos, donde uno de ellos se constituya como agente intermediario. En cambio, de identificar la noción de teoría con sus modelos a través de una estructura jerárquica de modelos de alto y bajo nivel, CS disolvería la distinción teoría-modelo y, por constituir una relación dicotómica entre modelos y target, anula la condición de posibilidad de la mediación misma (volveremos en el Capítulo 5 sobre estos). En este sentido, la tesis distintivamente anti-semanticista de esta nueva concepción es que los modelos no son constitutivos, sino independientes, de las teorías.

Sobre la base de estas consideraciones es que Suárez identifica tres rasgos que caracterizan a los modelos como mediadores autónomos y que le conferirían a esta concepción un matiz distintivo y novedoso respecto de las concepciones estándar (Suárez 1999a, pp. 160-170):

- Los modelos como mediadores autónomos no son ni pueden derivarse de las teorías. Es decir, para la construcción de los modelos se requieren elementos extraños al marco teórico de referencia. Incluso, en ocasiones la relación es inversa: los modelos se utilizan para la construcción de las teorías.
- Los modelos como mediadores autónomos no se derivan de los datos, ya que no son meras clasificaciones fenomenológicas construidas a partir de ellos. Muy por el contrario, contienen fuertes compromisos teóricos y conceptuales.

- Los modelos como mediadores autónomos en ocasiones se constituyen como sustitutos del sistema target y se convierten en el objeto primario y fundamental de la investigación.

Las primeras dos características se instituyen como notas francamente disruptivas respecto de CS, ya que los modelos no se introducen en una relación jerárquica sino que, al incluir elementos foráneos, se encuentran por fuera del eje teoría–datos. La última característica diferencia la perspectiva defendida por Morgan y Morrison de aquella que fuera anunciada por Redhead (1980) y acuñada por Post (1974) con el nombre de “modelos flotantes”. En efecto, en ese entonces ya se habían reconocido “modelos flotantes” (como por ejemplo el modelo de Elliot del núcleo atómico), que no devenían estrictamente ni de la teoría de referencia ni de los datos y que, por lo tanto, cumplirían con las primeras dos características enunciadas recientemente (cfr. Post 1974; Redhead 1980; Suárez 1999a). La tercera característica cobra relevancia ya que el modelo, al instituirse como el objeto de investigación *per se*, adquiere un poder explicativo como fuente de conocimiento en tanto que provee (a diferencia de los modelos flotantes donde no se extrae un conocimiento nuevo sino que se modifican variables para generar un ajuste con el sistema estudiado) un conocimiento local y particular (cfr. Suárez 1999a).

Morrison y Morgan se empeñan en tratar de mostrar que el rol distintivo de la mediación recae o depende estrechamente de la autonomía de los modelos. En definitiva, para las autoras, sin autonomía no habría mediación posible pues, en caso contrario, ¿cuál es el sentido de interconectar lo que ya está conectado? En la independencia de los modelos para con la teoría y los datos radica la potencialidad cognoscitiva de los modelos como instrumentos de investigación eficaces, ya que es precisamente dicha independencia la condición de posibilidad para que los modelos se instituyan en términos significativos como mediadores entre ambos polos. (Morgan y Morrison 1999). Para las autoras, sin importar la clase de los modelos (sean estos modelos de datos, modelos físicos, modelos matemáticos o simulaciones computacionales), la característica distintiva es que se instituyan como instrumentos autónomos de investigación de las teorías, del mundo e incluso de otros modelos: “Solo podemos esperar que los modelos nos enseñen algo sobre las teorías o el mundo si ellos son al menos parcialmente independientes de ambos” (Morgan y Morrison 1999, p. 17).

La autonomía se manifestaría en dos niveles. Un primer nivel estaría dado por el modo en que los modelos funcionan. Analizando modelos en el ámbito de la física, la economía y la sociología, Morgan y Morrison concluyen que los modelos sirven para construir teorías; corregir, explorar o desarrollar una teoría ya establecida; explorar procesos que la teoría no explica; aplicar una teoría que de otro modo sería inaplicable; como instrumento de experimentación y de medida; o como instrumentos para diseñar y producir tecnología. Estas funciones presumiblemente solo pueden desplegadas por modelos que no son dependientes ni de las teorías ni de los datos. La autonomía se manifestaría en estas funciones, ya que revela los modelos como instrumentos de investigación: al fin y al cabo, un instrumento⁶, afirman, si bien está relacionado, tiene que ser independiente de aquello sobre lo cual opera.

En un segundo nivel la autonomía se manifestaría en el modo en que se construyen. En este caso, la independencia se revelaría por el hecho de que no existen reglas fijas, mecanismos o algoritmos instituidos desde la teoría o los datos para la construcción de los modelos. Por el contrario, estos modelos permiten obtener resultados prometedores allí donde las teorías permanecen en silencio precisamente por tratarse de fenómenos demasiados complejos como para ser abordados satisfactoriamente por los marcos teóricos de referencia (Frigg y Hartmann 2006). Como ejemplos para graficar estos casos apelan a aquellos modelos cuyas idealizaciones o aproximaciones no son concordantes con el marco teórico o los datos experimentales. Uno de ellos, del cual nos ocuparemos extensamente en el Capítulo 5, es el modelo de los hermanos London sobre los materiales superconductores. Este modelo es interpretado como un modelo fenomenológico dado que la ecuación para los superconductores que permite describir el índice de expulsión del campo magnético no podría ser explicada a partir de la teoría electromagnética vigente en aquella época.

Un segundo caso que las autoras presentan (adoptando una posición similar a la de Cartwright 1983) es el modelo del péndulo ideal. La independencia de este modelo se exhibiría en el proceso de construcción, dado que las correcciones necesarias para diagramar el modelo del péndulo con vistas a capturar el péndulo real no son derivables ni

⁶ Esta perspectiva no debe asimilarse a la visión clásica del instrumentalismo, que pregona como valores únicos del conocer la utilidad o la eficacia. No alejándose significativamente de la perspectiva representacionista, y como veremos, entendiendo los modelos como instrumentos para la representación, afirman que estos de hecho proveen información tanto de las teorías como del mundo.

de las leyes fundamentales de Newton ni del fenómeno mismo: “A pesar de estos estrechos vínculos con la teoría, hay un sentido importante en el que podemos ver el modelo de péndulo funcionando de forma independiente, como un instrumento que no se limita a un simple vehículo para la teoría” (Morrison 1999, p. 48).

Un tercer y último caso es aquel que fuera identificado por Hartman en “*Models and stories in hadron physics*” (1999). En este texto, Hartman identifica la relevancia que adquiere la historia que se cuenta en relación al surgimiento y evolución de un modelo para que el mismo sea legitimado o valorizado por sobre los otros modelos también disponibles. Para ello apela a un caso conocido como “MIT-Bag Model”. La pertinencia de este modelo para el tema que aquí nos convoca se inscribe en que pone de manifiesto que muchas veces la adecuación empírica, la consistencia lógica o incluso la legitimidad del marco teórico no son vinculantes ni decisivos para consolidar un modelo. En esencia, este modelo indica que el movimiento de los quarks está contenido dentro de una región espacial determinada denominada “bolsa”. Sin embargo, el confinamiento de los quarks no puede derivarse directamente de la cromodinámica cuántica, sino que se induce del hecho de que nunca se ha observado un quark libre, es decir, que siempre aparecen agrupados. La pregunta que se hace Hartman es la siguiente: ¿por qué se elige el modelo MIT-Bag entre los múltiples modelos existentes que también permiten explicar el comportamiento de los quarks? Para el autor, la respuesta reside en la historia que permite contar. El modelo toma ventaja porque la historia que permite contar permite explicar cómo es que la bolsa resulta físicamente posible, o de dónde proviene la presión de la bolsa. En parte, modelar el confinamiento de los quarks en términos de una bolsa requirió contar una historia plausible, es decir, un historia posible que ni estaba contrastada ni estaba implicada por la teoría; una historia posible sobre lo que sucede dentro, fuera y en la superficie de la bolsa; una historia que en algún sentido explicara cómo es que el confinamiento es físicamente posible: “dado nuestro conocimiento de esta teoría, la historia parece plausible. Algo como esto probablemente sucederá dentro de un hadrón. Eso es todo. Y es por eso que la historia se considera una buena historia.” (Hartmann 1999, p. 337) (para mayores detalles ver De Tar y Donoghue 1983; Bhaduri 1988). Este caso se constituiría una instancia ejemplificadora del carácter autónomo de los modelos dado que su legitimación no venía instituida desde el marco teórico de referencia sino de la historia explicativa que permitía contar.

Por último y para finalizar con esta perspectiva modelística, cabe destacar que para las autoras la mentada independencia es parcial. Esto es relevante dado que, en parte, la parcialidad se debe a que para estas autoras, al igual que para los partidarios de CS, los modelos son representaciones. En efecto, la autonomía no sería total dado que existe un lazo vinculante conferido mediante el proceso representativo. Por consiguiente, la caracterización de los modelos como instrumentos de investigación no atenta contra la concepción representacionista en tanto y en cuanto no se entienda la representación como un reflejo o una reproducción pictórica de un fenómeno sino como una traducción o interpretación (*rendering*) en la cual no siempre se puede obtener un imagen certera del fenómeno mediante el ajuste de ciertos parámetros. A decir de Morgan y Morrison, este modo de conceptualizar el proceso representativo es de crucial importancia, pues permitiría conjugar en un mismo movimiento relación e independencia: mientras la relación estaría garantizada mediante la función representativa, la independencia se configura en el ámbito de la construcción y las diversas funciones cumplimentadas por los modelos (cfr. Morrison 1999).

1.4 La nueva concepción semanticista

Hacia finales del siglo XX surgieron nuevas voces en defensa de CS que intentaron, sobre la base de un formalismo lógico ligeramente diferente, afrontar algunas críticas aquí presentadas. La estrategia utilizada fue tratar de ubicarse en un espacio intermedio que pudiera dar cuenta de la multiplicidad de modelos existentes mediante un criterio que permitiera explicar en un mismo movimiento la unidad y la diversidad; la razón de ser un modelo y la razón de no ser la misma clase de modelo; pero también el sentido por el cual un modelo puede ‘ser y no ser parte de una misma teoría’. Para surcar el camino por el cual crecería su cosecha, primeramente advirtieron los peligros de adoptar perspectivas extremas que, o bien por explicar mediante constructos teóricos altamente formales finalmente pierden de vista el desarrollo de la práctica efectiva de la científica, o bien por atenerse a la mera descripción del acto de modelización, terminan estableciendo una minuciosa taxonomía que no logra proporcionar un sentido unificador. Frente a este escenario, “el movimiento obvio es llegar a un punto entre estos extremos, donde el deseo de un marco unitario se equilibra con la necesidad de vigilar de cerca la práctica científica. (...) Nuestra

intención aquí ha sido simplemente indicar que un relato unitario y formal aún podría poseer los recursos para acomodar esta riqueza y complejidad.” (da Costa y French 2000, p. 125-126).

El enfoque de estructuras parciales como sustituto de la noción de inclusión sería entonces el artefacto lógico-epistémico encargado de responder a las preocupaciones esgrimidas tanto por aquellos que, desde una perspectiva deflacionaria (Black 1962; Achinstein 1968; Downes 1992), alegan que CS no logra brindar una imagen completa que aborde los diversos usos, tipos y funciones de los modelos, como por aquellos que objetan que CS no puede dar cuenta del carácter autónomo de los modelos (Cartwright, Shomar y Suárez 1999; Morgan y Morrison 1999; Suárez y Cartwright 2008). Asimismo, la noción de estructura parcial y la distinción entre una caracterización intrínseca y extrínseca de una teoría científica habilitarían un marco de respuesta en términos de verdades parciales a las inquietudes propuestas por Chakravarty (2001) (cfr. French y Ladyman 1997; French y Ladyman 1999; da Costa y French 2000; Bueno, French y Ladyman 2002; da Costa y French 2003; French y Saatsi 2006). Por último, este marco permitiría explicar por qué los modelos son artefactos epistémicos aun cuando, producto de aproximaciones e idealizaciones, la información brindada por ellos es esencialmente incompleta, o incluso falsa (cfr. da Costa y French 2003; Bueno y French 2011).

El énfasis en las estructuras parciales, caracterizadas primariamente a través de un isomorfismo parcial, tiene como fuente de inspiración primera el análisis que efectúa Hesse (1970) respecto de los modelos entendidos como analogías parciales incompletas. Como ejemplo ilustrativo para caracterizar esta propuesta, piénsese el canónico caso del modelo de bolas de billar en torno al comportamiento de las partículas de un gas. Hesse propone una división tripartita entre analogías positivas (aquellas, que como la masa o la velocidad, son compartidas tanto por las moléculas de gas como por las bolas de billar); analogías negativas (aquellas que, como el color, sabemos que no son compartidas); y , la más importante, las analogías neutrales (aquellas que no sabemos si son compartidas o no).

Para los nuevos semanticistas esta caracterización realizada por Hesse encuentra su lugar natural y adecuado en el marco de una perspectiva formal en donde una estructura parcial se define como

$$A = \langle D, R_i \rangle \text{ con } i \in I$$

donde D es un conjunto no vacío y R_i es una relación parcial. Una relación R_i , $i \in I$ sobre D , es parcial en el sentido de que para algunos pares ordenados no está definido si se satisface o no dicha relación; es decir, la relación no está definida para todas las n -tuplas de los elementos de D .

Cada relación parcial R_i en A puede definirse como $\langle R_{i1}, R_{i2}, R_{i3} \rangle$, donde R_{i1} , R_{i2} , R_{i3} son conjuntos disyuntos, R_{i1} es el conjunto de pares ordenados que pertenecen a R_i –analogías positivas–, R_{i2} es el conjunto de pares ordenados que no pertenecen a R_i –analogías negativas– y R_{i3} es el conjunto de pares ordenados que no sabemos si pertenecen o no R_i –analogías neutrales–. La importancia de R_{i3} en el contexto de los isomorfismos parciales radica en que, cuando es vacío, R_i se convierte en un isomorfismo estándar (para un análisis más detallado ver da Costa y French 1990; Bueno 1997; Bueno, French y Ladyman 2002; da Costa y French 2003).

La utilidad teórica de estas herramientas lógicas es, a decir de los exponentes de esta nueva tradición, variada. En primer lugar, esta estrategia permitiría caracterizar la relación entre modelo y sistema y entre los propios modelos que forman la red teórica a partir de un isomorfismo parcial anclado entre estructuras parciales del siguiente modo. Dadas dos estructuras parciales

$$A = \langle D, R_i \rangle_{i \in I} \quad \text{y} \quad A' = \langle D', R'_i \rangle_{i \in I}$$

donde $R_i = \langle R_{i1}, R_{i2}, R_{i3} \rangle$ y $R'_i = \langle R'_{i1}, R'_{i2}, R'_{i3} \rangle$, una *relación parcialmente isomorfa* se constituye cuando existe una función f de D hacia D' si:

- i) la función f es biyectiva.
- ii) para todo $x, y \in D$, $R_{i1}xy \leftrightarrow R'_{i1}f(x)f(y)$.
- iii) para todo $x, y \in D$, $R_{i2}xy \leftrightarrow R'_{i2}f(x)f(y)$.
- iv) R_{i3} y R'_{i3} no pueden ser conjuntos vacíos.

En segundo lugar, esta estrategia formalista precisa el sentido de los modelos entendidos como analogías apelando a las similitudes entre estructuras parciales que explican de un modo constructivo la esencial incompletitud de los modelos.

En tercer lugar, en este mismo acto clarifican lo que en Giere (1988) deliberadamente se mantiene indefinido: la noción de similitud. Decir que A es similar a A' simplemente es

decir que la familias de relaciones de R_{i1} es similar a la familia de relaciones de R'_{i1} . Esto es, que algunos elementos de R_{i1} son isomorfos con algunos elementos de R'_{i1} .

En cuarto lugar, en respuesta a las críticas presentadas tradicionalmente por Downes (1992) y, más contemporáneamente, por Knuuttila (2003) respecto de que los modelos a escala suponen una materialidad que es relevante para explicar su potencialidad cognoscitiva, los partidarios de la nueva concepción semántica consideran que, en tanto elementos esencialmente representativos, el aspecto material no es incompatible con el esquema formal: “Por supuesto, a un nivel, superficial, estos son simplemente lo que son: trozos de alambre y hojalata, o bolas de colores brillantes que se mantienen unidas por varillas de plástico. El movimiento obvio, pero importante, es preguntar cuál es su función y esto es igualmente claro: es representar. (...) El punto, por supuesto, es que el material específico del modelo es irrelevante; más bien es la representación estructural, en dos o tres dimensiones, lo que importa.” (French y Ladyman 1999, p. 109). Es decir, la cuestión no sería tanto evaluar si los modelos tal como son usados en la práctica científica se ajustan al esquema de estructuras parciales, sino si esta estrategia puede o no dar cuenta de los diversos tipos de modelos utilizados en ciencia.

Por último, el análisis en términos de estructuras parciales presumiblemente respondería las inquietudes presentadas por Morgan y Morrison respecto de la independencia de los modelos por sobre los datos y la teoría. Si bien la eficacia de esta estrategia será evaluada detenidamente en el Capítulo 5, cuando analicemos la discusión en torno al modelo de los hermanos London respecto de la superconductividad, los autores de la nueva concepción semántica esgrimen lo siguiente. En relación con la independencia de los modelos para con los datos, acertadamente, recuerdan que Suppes en 1967 había reconocido que la experiencia siempre se manifiesta conceptualmente ya que solo puede compararse con los modelos teóricos un conjunto limitado de datos debidamente estructurados (cfr. Suppes 1967; French y Ladyman 1997; da Costa y French 2003). En relación con la presunta independencia para con la teoría afirman que el análisis realizado en términos de estructuras parciales permite graficar una relación jerárquica en términos no deductivos entre los modelos de datos y los modelos teóricos. La idea fundamental es que la relación parcial que no es definida en un nivel (es decir cuyos elementos pertenecen a R_{i3}), se define en el siguiente nivel variando o bien R_{i1} o bien R_{i2} (cfr. Bueno 1997; Bueno, French y

Ladyman 2002). Esto les permitiría afrontar la crítica aduciendo que el argumento brindado por Morgan y Morrison no es sólido porque una de las premisas subyacentes no se cumple. En particular acusan a las autoras de brindar una parcial y equívoca visión de CS, ya que no es cierto que para esta concepción cualquier modelo científico deba figurar como miembro de la familia de modelos constitutivos de la teoría. Aunque fuera cierto que existan modelos independientes, estos se pueden recuperar formalmente mediante el análisis de estructuras parciales. De hecho, desde una perspectiva diacrónica en los casos que mencionan las autoras, la independencia solo se mostró en forma parcial y temporal, dado que, aunque incompleta, existía cuando se instituyeron los modelos presumiblemente autónomos, una teoría que ejercía como marco general de referencia (cfr. da Costa y French 2003) (volveremos sobre esto en el Capítulo 5).

Para finalizar el análisis concerniente a los alcances de esta nueva concepción semántica, y responder el desafío presentado por Chakravartty según el cual, de identificar una teoría con la clase de sus modelos, ninguna perspectiva realista sería viable en el marco de la propuesta semanticista, da Costa y French advierten que una teoría no se identifica con su modelos sino que se presenta a partir de ellos. En efecto, dado que los portadores de verdad deben ser estructuras lingüísticas, parecería que adoptar algún tipo de realismo semántico conllevaría a incurrir en una especie de error categorial: en el mejor de los casos, los modelos, entendidos como estructuras que satisfacen las leyes de las teorías, se constituirían como hacedores más no como portadores de verdad (da Costa y French 2003). El problema podría expresarse del siguiente modo: si las teorías se reducen a sus modelos y éstos no son susceptibles de ser catalogados como verdaderos o falsos ¿cómo podríamos consistentemente adscribirle valor de verdad a las teorías?

Para afrontar este dilema la estrategia es alegar que el error emerge como producto de una incomprensión que considera el verbo ‘ser’ de la expresión ‘las teorías *son* la clase de sus modelos’ en términos de identidad. El salvoconducto será entonces esgrimir que no es que una teoría *sea* una estructura sino que se *presenta* como tal a partir del conjunto de sus modelos. Tanto da Costa y French (2003) como French y Saatsi (2006) sospechan que este equívoco deviene del modo en que inicialmente fuera formulado el slogan semanticista. El pecado original esta vez lo habría cometido van Fraassen cuando en su obra *The Scientific Image* temerariamente asevera que “si una teoría tiene que identificarse con algo, entonces

debe hacérselo con la clase de sus modelos” (van Fraassen 1980, p. 222). Según estos autores, esta caracterización abre la siguiente pregunta: los modelos como elementos distintivos de las teorías científicas ¿deben interpretarse en términos constitutivos o meramente representativos? Es decir, ¿los modelos agotan el alcance de las teorías científicas y, por lo tanto, se constituyen como elementos excluyentes y exhaustivos de estas, o simplemente son la mejor forma en que una teoría se presenta? El movimiento que apela a no interpretar el verbo ‘ser’ en términos de identidad parece fructífero, pues crea una fisura al interior de CS que posibilita el intersticio propicio para introducir, y así legitimar, la adopción de actitudes epistémicas en términos de verdad, falsedad, verdad parcial o cuasi verdad. En efecto, para los partidarios de la nueva concepción semántica, (i) promover una línea moderada como la que fuera desarrollada por Suppes, donde el slogan semanticista no establece una relación de identidad sino un modo adecuado de representar las teorías científicas en función de los propósitos internos de la filosofía de la ciencia, (ii) renunciar a la pregunta ontológica que se preocupa por saber qué *es* una teoría y (iii) por último, adoptar la distinción instituida por Suppes entre una caracterización extrínseca e intrínseca de las teorías científicas (French y Saatsi 2006), serviría para crear el espacio necesario para que allí donde el lazo identitario se rompe aparecieran nuevos elementos que propiciarán la posibilidad de hablar en términos de verdad y falsedad.

En este contexto, la principal estrategia adoptada por da Costa y French (2003) y French y Saatsi (2006) es apelar a la distinción entre caracterización intrínseca y extrínseca empleada por Suppes con el fin de argüir que el desafío presentado por Chakravartty surge como consecuencia de no reconocer ni diferenciar estos dos aspectos. De acuerdo con Suppes, una caracterización intrínseca es entender una teoría a partir de alguna formalización estándar; en cambio una caracterización extrínseca es considerarla desde “fuera” de toda caracterización lógica-lingüística particular y asociarla con la clase de los modelos pretendidos (cfr. Suppes 1967). La evidente necesidad de tal distinción se manifiesta en que, sin ella, no tendría ni siquiera sentido preguntarse por el tipo de axiomatización adecuada que le quepa a una teoría en particular. Solo desde “fuera” de una formulación lógico-lingüística específica de una teoría, identificando la clase de los modelos, es que cabe la pregunta en torno a si una teoría puede o no ser axiomatizada bajo alguna lógica en particular (cfr. da Costa y French 2003, p. 33). Como afirma Suppes,

“preguntar si podemos axiomatizar es simplemente preguntar si podemos enunciar un conjunto de axiomas tales que los modelos *–considerados extrínsecamente–* de estos axiomas sean precisamente los modelos en la clase definida.” (Suppes 1967, p. 60; el agregado en *itálicas* no pertenece a la cita).

Esta representación dual les permitiría a los nuevos defensores de CS afirmar que una teoría científica, representada desde una perspectiva intrínseca, sí puede ser el objeto de nuestras actitudes epistémicas. En su caracterización intrínseca una teoría científica es presentada en términos de un cálculo lógico y, en tanto tal, en el contexto de dicha caracterización intrínseca las teorías son susceptibles de ser objetos epistémicos de nuestras creencias. En cambio, en el contexto de una caracterización extrínseca que presenta a una teoría a partir del conjunto de las estructuras modelísticas pretendidas, tal actitud epistémica está, por los motivos antedichos, vedada. En este sentido los autores concluyen que “las teorías, sean lo que sean ontológicamente, están representadas, desde la perspectiva extrínseca, en términos de modelos o clases de modelos, y desde la perspectiva intrínseca, pueden tomarse como objetos de actitudes epistémicas. Decir que los modelos en sí mismos pueden actuar como tales objetos es cambiar de una perspectiva por otra con consecuencias problemáticas: las estructuras de la teoría de conjuntos en sí mismas no pueden ser portadoras de la verdad.” (da Costa y French 2003, p 34).

Resulte o no prometedor esta línea de escape, lo cierto es que la estrategia formalista padece de un defecto secundario quizás más letal que aquel problema que originalmente prometía solucionar. Como afirma Cunningham: “Lo que se gana con la adopción de la estrategia formalista es una solución sencilla al problema uno, el hecho de que hay muchos tipos de modelos en la ciencia con los que el programa semántico aparentemente es intolerante. Sin embargo, lo que se pierde es cualquier capacidad para caracterizar la relación de teorías, modelos y el mundo per se. Bajo tales luces, los modelos, que constituyen teorías, exhiben una profunda y misteriosa relación con el mundo.” (Cunningham 2013, p. 15). La pérdida del mundo resultante de reducir la relación entre modelos teóricos y modelos de datos o, en términos vanfrassianos, entre modelos teóricos y apariencias, como una consecuencia indeseada, fue incluso aceptada por los partidarios de esta nueva concepción bajo una afirmación descaradamente liberadora: “Por supuesto, existe el problema más profundo de la relación entre la representación más baja en la

jerarquía (quizás el modelo de datos) y la realidad misma, pero, por supuesto, esto no es algo que se pueda esperar que aborde el enfoque semántico por sí solo” (French y Ladyman 1999, p. 113).

Quizás precisamente por ello la propuesta de Giere, que tímida y aisladamente surgía como una alternativa de la nueva concepción semanticista en su versión formalista, comenzó a ganar cierta preponderancia en los estudios de la última década. A diferencia de las corrientes precedentes, Giere admite la importancia de reconocer la diversidad entre los modelos matemáticos, físicos, a escala o modelos por analogías, y se rehúsa a reducir esta diversidad en un criterio constitutivo que interprete a estos como estructuras. Propone, en cambio, un criterio funcionalista según el cual los modelos son parte de la misma familia en tanto entidades o constructos representativos. La vaguedad del término ‘similitud’ sobre la que configura el aparato representativo se ve compensada por la posibilidad de erigir un realismo que no conlleve la pérdida del mundo. En efecto, aquello que es similar al modelo en Giere no es un constructo teórico, diseñado estructuralmente, sino que es el sistema real (Giere 1988, 2004).

Para finalizar, y como corolario de todo lo antedicho, quizás lo más relevante a considerar con relación a CS es lo siguiente. Dadas las innumerables y diversas críticas vertidas sobre esta concepción, no es posible dar cuenta de las vicisitudes y pormenores que genera el desarrollo teórico en torno del proceso de modelización sobre la base de una única corriente de pensamiento. Cuasi-realistas (Suppe 1989), realistas parciales (da Costa y French 2000, 2003; French 2014), realistas estructurales ónticos (Ladyman 1998; Ladyman y Ross 2007), antirrealistas configurados sobre una perspectiva formal y estructuralista del representar (van Fraassen 2006, 2008), realistas no estructuralistas ni formalistas (Giere 1988, 2004), autores que afirman que las teorías son y se identifican con sus modelos (van Fraassen 1980; Thomson-Jones 1997; Cunningham 2008; Klein 2013), frente a otros –o incluso ellos mismos– que lo niegan (van Fraassen 1980; Suppes 1967; Suppe 2000; da Costa y French 2003; French y Saatsi 2006), modelos teóricos relacionados con el sistema real (Giere 1988) y modelos teóricos relacionados solo con apariencias (van Fraassen 2008), autores que siendo realistas aseveran que la relación se constituye entre estructuras configuradas entre los modelos teóricos y los modelos de datos (Suppes 1962, 1967; French y Ladyman 1997; da Costa y French 2003) frente a autores que sobre esa

misma base conceptual defienden un antirrealismo (van Fraassen 1980, 2008) y, por último, agnósticos estructuralistas que siguen los lineamientos de Balzer, Moulines y Sneed (1987), constituyen el vasto muestrario de defensores necesarios para dar cuenta de las múltiples problemáticas que CS y el acto de modelización misma genera. He aquí quizás la razón de la profusa y dispar literatura semanticista: dada las dificultades descritas, CS requiere, para su supervivencia, de una amplia familia de autores que pueda responder cada desafío con un jugador.

1.5 Algunas consideraciones sobre realismo, antirrealismo, instrumentalismo y representación

Antes de finalizar esta introducción y desplegar el corpus principal de esta tesis a partir de los siguientes capítulos, resulta relevante, con el objeto de poder evaluar el real alcance de las hipótesis en juego, establecer ciertas consideraciones respecto del modo en que se relacionan las nociones de ‘realismo’, ‘antirrealismo’, ‘instrumentalismo’ y ‘representación’. La presente tesis pretenderá configurar una perspectiva no representacionalista de los modelos en química. Sin embargo ¿implica esto que se deba abrazar el instrumentalismo? ¿Cuál es el contrincante natural del representacionalismo? ¿Acaso una perspectiva no representacionalista nos compromete con el antirrealismo? O mejor aún, ¿son los anti-representacionalistas necesariamente instrumentalistas? E incluso si así lo fueran, ¿de qué tipo serían?

Dada la proliferación de posturas al interior del realismo y el antirrealismo que fueron desarrollándose en el vasto derrotero filosófico, sería inocente e imprudente pretender establecer algún tipo de implicación entre las nociones puestas en juego. En efecto, si bien el realismo fue concebido inicialmente desde una concepción representacionalista y correspondentista de la verdad, con el paso de los años, ante las dificultades suscitadas y el estancamiento de la discusión, emergieron nuevas posturas que fracturaron los lazos entre realismo, verdad y representación.

Tradicionalmente, en su expresión más clásica, el realismo asumió un fuerte compromiso epistémico, semántico, ontológico y teleológico. Asumiendo que nuestras mejores teorías científicas bien interpretadas son las mejores herramientas gnoseológicas que la sociedad

actual tiene a disposición, esta postura concluye que los enunciados científicos son verdaderos o verosímiles dado que permiten captar la estructura del mundo al identificar las entidades, propiedades y/o relaciones que, independientemente del sujeto cognoscente, existen en él. En este contexto la perspectiva representacionalista estuvo fuertemente entrelazada con una noción correspondentista de la verdad.

Sin embargo, hacia fines de los años ochenta, para frenar los embates antirrealistas configurados principalmente a partir del argumento conocido como “meta-inducción pesimista” (Laudan 1981), o incluso para reducir el alcance de la crítica al realismo metafísico desarrollada por Putnam (1981) a través del argumento modelo-teórico⁷, nuevos realismos empezaron emerger ante la sospecha de que los problemas tradicionales se solucionaban entendiendo que no es el compromiso realista lo que habría que abandonar, sino el andamiaje semántico en torno a la verdad sobre el cual dichos argumentos se configuraban: “Cualesquiera que sean los aciertos y errores de este debate, el tema no tiene nada que ver con el realismo. Tiene que ver con la referencia y con la teoría de la representación” (Devitt 1991a, p. 51; ver también Giere 1999). El diagnóstico realizado fue que, de anular el andamiaje semanticista que giraba en torno a las nociones de verdad, referencia, correspondencia y representación, se anularían también las críticas antirrealistas. Este nuevo realismo culpaba al realismo tradicional de los embates antirrealistas, advirtiendo que la ineficacia y el enredo filosófico surgido respecto de la disputa realismo-antirrealismo se debía a que toda la tradición realista subordinaba la discusión metafísica acerca de la existencia de las entidades teóricas o bien a una discusión semántica acerca del significado de los enunciados o bien a una discusión en torno a noción de verdad entendida en términos de correspondencia (para la primera perspectiva, ver Dummett 1978, 1991 y

⁷ El *leitmotiv* del argumento en cuestión se basa en que, aparentemente, sería imposible privilegiar el lenguaje natural por sobre otro lenguaje para fijar la referencia de los términos. El argumento demuestra que podemos cambiar los referentes de los términos *sub-oracionales* salvaguardando el valor de verdad de la oración a la que pertenecen. La estrategia de Putnam es afirmar que, aun considerando que los constreñimientos teóricos y los operacionales puedan determinar qué oraciones –completas– son verdaderas en un lenguaje, la referencia de los términos que pertenecen a ellas permanece indeterminada debido a que sería posible cambiarla sin alterar el valor de verdad de cada oración en cada mundo posible. En lo profundo, lo que el argumento en cuestión desea manifestar es que el supuesto realista de que existe una descripción del mundo que se impone desde el mundo a partir de los constreñimientos operacionales y teóricos es inconsistente con lo que el argumento modelo-teórico demuestra (para análisis de los alcances de este argumento, ver Field 1982; van Cleve 1992; Orlando 2000).

Putnam 1981; para la segunda, ver Psillos 1999 y Niiniluoto 1999; para una mirada crítica de ellas, ver Devitt 1984, 1991a y Appiah 1986, 1991).

Frente a ello, autores como Giere (1999) proponen una suerte de realismo sin verdad, sustentado sobre la base de una concepción modelística que abandona el pretendido universalismo aparentemente dado por las leyes y sustituye la noción de representación entendida en términos lingüísticos como reflejo o copia de lo real por una noción que la comprenda en términos de ajuste: “¿Qué recursos quedan para expresar una noción útil de realismo? Lo que queda, creo, es una noción más general de representación. En lugar del ejemplo habitual de representación lingüística como "El gato está en la estera", sugeriría comenzar con mapas.” (Giere 1999, p. 25). Según el autor, los mapas se constituyen como una metáfora más adecuada para entender la práctica de la representación en ciencia, ya que no solo no existe, ni tendría sentido que existiera, un mapa universal (dependiendo del propósito se usan mapas políticos, topográficos, geológicos, meteorológicos o urbanos), sino que tampoco tiene sentido juzgarlos función de su verdad o falsedad sino en función de su eficacia o ineficacia.

Otros autores adoptan una postura más radical al abogar por una suerte de realismo sin verdad ni representación. Devitt, en su artículo titulado “*Realism without representation: A response to Appiah*” (1991b), afirma que ninguna tesis semántica es constitutiva del realismo en tanto que, mientras que la última es una tesis metafísica acerca de lo existente, la primera es una tesis acerca del significado donde la dimensión de lo existente y lo independiente no juega rol alguno. En consecuencia, para este autor una tesis realista no implica una tesis semántica, ni tampoco se cumple su inversa: “Por supuesto, si agregamos las dos dimensiones del realismo (existencia e independencia) a la teoría semántica, entonces esta implica el realismo. Pero si agregamos la doctrina de la Trinidad, también implicaría eso.” (Devitt 1991b, p. 76). Su realismo simple y robustamente se compromete con la existencia independiente de las entidades teóricas y empíricas. Negar tal implicación no conlleva, a juicio del autor, afrontar alguna dificultad respecto de cómo identificar tales entidades, pues ello se realiza sencillamente dando ejemplos: existen pierdas, árboles, sillas, átomos, electrones y quarks: “¿Qué es lo que no está claro sobre eso? Si una persona tiene dificultades para captar la idea, podría continuar la lista, hasta el final si es necesario.

O podría decir una palabra sobre cómo construimos la lista: buscamos en nuestra mejor ciencia y en el sentido común.” (Devitt 1991b, p. 76).

En esta misma línea, Hacking en *Representar e Intervenir* arguye que, allí donde la representación se instituye como foco primario de discusión, la disputa se estanca: “El realismo y el antirrealismo se deslizan por allí, tratando de encontrar algo en la naturaleza de la representación que les permitirá dominar al otro. Pero allí no hay nada más. Por eso ahora paso de la representación a la intervención.” (Hacking 1983, p. 173). La propuesta del autor es reemplazar o priorizar la intervención experimental por sobre la representación. Precisamente haber descuidado el ámbito de la experimentación y la intervención en pos de una concepción representacionista del conocimiento es lo que condujo al estancamiento de la discusión, pues allí donde prima el problema de la representación el antirrealismo avanza. “el daño proviene de una decidida obsesión con la representación, el pensamiento y la teoría a costa de la intervención, la acción y el experimento.” (Hacking 1983, p. 158). En este sentido, el autor afirma que el problema acerca de si nuestras mejores teorías científicas representan o no el mundo no tiene relación con la existencia o inexistencia de las entidades teóricas de la ciencia, pues el realismo no es un asunto de cómo representar el mundo sino de cómo lo intervenimos experimentalmente. En contraposición al realismo científico respecto de las teorías, íntimamente ligado a los tópicos semanticistas de la verdad, la referencia y la representación, Hacking antepone un realismo de entidades. Este realismo de entidades supone una independencia respecto del marco teórico de referencia como medio o vía para la identificación de las mismas. Desde esta concepción, la existencia de las entidades teóricas no depende ni está conceptualmente ligada a las propiedades atribuidas a tales entidades. Las concepciones teóricas que de estas entidades se tengan podrán variar o incluso contradecirse en el trascurso de la ciencia sin que ello atente contra la identidad de la entidad, pues esta seguirá siempre siendo la misma frente a los posibles cambios teóricos. El autor se pregunta cuál sería la peculiaridad del tigre para sospechar que lo antedicho en él no se cumple, si al fin y al cabo no dudáramos de que el tigre seguirá siendo tigre, es decir seguirá siendo lo que es, aunque se lo piense distinto. En este sentido se podría adoptar una actitud escéptica respecto de todo aquello que afirman las teorías sobre tales entidades, pero su existencia no depende de ello sino de la capacidad de manipulación que se tenga de ellas. De este modo, la noción de manipulación sustituye a la

noción de representación como garantía de existencia: “El realismo científico se discute por lo general bajo el título de representación. Discutámoslo ahora bajo el título de intervención. (...) Consideremos real lo que podamos usar para intervenir en el mundo para afectar algo más, o lo que el mundo puede usar para afectarnos.” (Hacking 1983, p. 174).

Pero a su vez, y he aquí la ausencia de toda implicación posible entre las nociones presentadas al principio de la presente sección: no solo el realismo no está comprometido con la noción de representación (y, por lo tanto, la crítica a la noción de representación no necesariamente se traduce en un problema para el realismo), sino que existen posturas antirrealistas y representacionistas. Es decir, se puede ser realista o antirrealista y adoptar o no una perspectiva representacionista.

El caso quizás paradigmático, pues se constituyó como el máximo referente del antirrealismo en las últimas décadas, es van Fraassen. Pretendiendo ubicarse en un punto equidistante entre el realismo y el instrumentalismo propio de los positivistas lógicos, el empirismo constructivo defendido por van Fraassen estipula como criterio de aceptación de las teorías científicas la adecuación empírica. Es decir, desde esta perspectiva, la ciencia tendría como objetivo simplemente brindar teorías que salven los fenómenos, es decir, que sean empíricamente adecuadas. Al diferenciar la actitud de creencia de la actitud de aceptación, el autor defiende un punto de vista donde la confiabilidad de una teoría no implica ni supone la creencia en su verdad, sino que se reduce a la aceptabilidad como producto de su adecuación empírica. El antirrealismo epistémico y ontológico respecto de las entidades teóricas de la ciencia queda salvaguardado en tanto las teorías científicas permitan “salvar los fenómenos” al establecer una descripción verdadera acerca del mundo de lo observable, o para formularla de un modo afín a la concepción semanticista que el autor abraza, cuando la teoría tiene algún modelo donde los fenómenos encajen o se comporten como la teoría prescribe (cfr. van Fraassen 1980).

Comprometerse con las consecuencias observacionales mas no con la existencia de las entidades teóricas postuladas por las teorías científicas no supone, sin embargo, ni un rechazo de la concepción representacionista ni un rechazo de lo que Kukla (1998) denomina ‘realismo semántico’. A los efectos de diferenciarse del instrumentalismo clásico acuñado en el contexto del positivismo lógico y como estrategia para evitar incurrir en los contratiempos que resultan de la imposibilidad de distinguir teorías diferentes con idénticas

consecuencias observacionales, van Fraassen acepta, como parte integral de su empirismo constructivo, que los enunciados teóricos de la ciencia deben interpretarse en términos literales y que, por tanto, son susceptibles de ser verdaderos o falsos. Precisamente esto último, en conjunción con su escepticismo respecto de la plausibilidad de atribuir algún grado de credibilidad a aquello que supere lo netamente observable, le permite adoptar una postura antirrealista que logra, al mismo tiempo, despedirse conjuntamente de la metafísica en la que incurren los realistas y del instrumentalismo entendido en términos clásicos como aquella postura que considera a los constructos teóricos como meras herramientas predictivas sin referencia o valor de verdad. El antirrealismo defendido por van Fraassen se define como no instrumentalista principalmente porque abraza, al igual que ciertas posturas clásicas del realismo, una concepción representacionalista del conocimiento. En efecto, su antirrealismo, a diferencia de las concepciones instrumentalistas, supone que las teorías científicas logran brindar información en tanto y en cuanto representan el comportamiento de los fenómenos observables. La concepción representacionalista vanfraasense puede entenderse mejor considerando la evolución que sufre su perspectiva desde el empirismo constructivo (van Fraassen 1980) hacia el estructuralismo empirista (van Fraassen 2006, 2008). Esta última tendencia no abandona los principios básicos del antirrealismo vanfraasense expuestos recientemente, sino que incorpora nuevos elementos a la luz del desarrollo del realismo estructural realista iniciado por Worrall (1989) y luego continuado por autores como Ladyman, Ross, French y Stassi (cfr. Ladyman 1998, 2011; Ladyman y Ross 2007; French y Ladyman 2003; French y Saatsi 2006; French 2014), y a la luz de una distinción entre fenómenos y apariencias.

El representacionalismo estructuralista de tinte empirista y antirrealista se sustenta sobre la base de una distinción entre fenómenos y apariencia que permite clarificar algunos malentendidos e introducir, gracias a esa distinción, el aparato estructuralista en el proceso representacional. Entre los dos polos, ‘modelos teóricos’–‘fenómenos observables’, involucrados en la producción del conocimiento (donde el segundo constituye el target de la representación científica y el primero el vehículo para la obtención del conocimiento), van Fraassen introduce la categoría de ‘aparencia’ entendida como el contenido de los resultados que se producen a partir de la observación y la medición del fenómeno. Dado que los fenómenos en tanto objetos, eventos o procesos observables no son en sí mismos

estructuras matemáticas, y dado que para el autor la representación se expresa en términos de relaciones mórnicas entre estructuras, la adecuación empírica no se produce directamente entre los fenómenos y los modelos teóricos, sino mediatamente a través de una reconstrucción del fenómeno en términos de modelos de datos a partir de las apariencias que surgen en función de los intereses y las técnicas experimentales desarrolladas por el investigador. En este sentido, frente al fenómeno, como objeto directo de investigación se antepone las apariencias, entendidas como el modo en que el fenómeno es percibido por el investigador. Estas apariencias, que se presentan progresivamente en términos cada vez más abstractos desde los datos duros hacia los modelos de datos más refinados, son las que en definitiva, en tanto entidades matemáticas, terminan siendo incluidas (*embedded*) en otras estructuras matemáticas, los modelos teóricos. Precisamente la adecuación empírica, considerada desde una perspectiva representacionista y estructuralista, se produce como consecuencia de este emparejamiento entre estructuras. Esta concepción representacionista sigue la línea pragmatista de la mayoría de las concepciones contemporáneas, que entienden la representación como una actividad (y no como un hecho o proceso bruto independiente del sujeto) que genera un agente al asociar modelo y target desde una perspectiva peculiar dada por los intereses de la investigación. Esta relación triádica le permite a van Fraassen, en el proceso de configuración del modelo de datos, introducir el elemento estructural del cual el fenómeno, en tanto fenómeno del mundo, carece⁸.

⁸ Van Fraassen responde en el mismo libro una objeción conocida como “la objeción de la pérdida del mundo”. Esta objeción puede plantearse del siguiente modo. Si son los modelos de datos los que son incluidos (*embedded*) en estructuras teóricas más abstractas y si se entiende la adecuación empírica a partir de esta relación, ¿qué es lo que en realidad “salva” la teoría: los modelos de datos o los fenómenos? En efecto, una primera impresión es que adherir a una concepción estructuralista del representar tiene como altísimo costo perder como referente directo de la representación los fenómenos del mundo. Si recordamos que la propuesta aludía a que la aceptabilidad de una teoría no implicaba el compromiso con las entidades teóricas (he aquí su antirrealismo) sino que dependía de la adecuación empírica que permitía salvar los fenómenos, la introducción de los modelos de datos como aquellas estructuras que son embebidas en los modelos teóricos habilita la pregunta recientemente planteada. Para responder a ella van Fraassen apela a las nociones de tautología pragmática y de indexicalidad que, mediante un gesto, ancla y fija la referencia. Este gesto no es el fundamento de la representación sino su condición de posibilidad (cfr. van Fraassen 2008). Como dijimos, para un análisis crítico de esta respuesta, ver Lutz 2017 y Borge y Lucero 2018. Para un intento de salvaguardar la propuesta de van Fraassen dentro de sus marcos teóricos, ver Gentile 2019.

Frente a estas diversas y divergentes concepciones que indican la independencia entre los conceptos ‘realismo’, ‘antirrealismo’, ‘instrumentalismo’ y ‘representación’, la presente tesis pretenderá abogar en favor de una perspectiva instrumentalista que no se constituya principalmente a partir de la dicotomía realismo-antirrealismo, sino como antagonista de las perspectivas representacionistas actualmente vigentes en el discurso en torno del proceso de modelización. Si bien clásicamente la tradición instrumentalista se instituyó como adversaria directa del realismo al negar la existencia de las entidades teóricas mencionadas en las teorías científicas, no es desde esta línea de investigación que me interesa presentar el instrumentalismo que aquí defenderé. Dado que la concepción representacionista puede defenderse desde una mirada realista o antirrealista y dado que el realismo puede instituirse desde una perspectiva no representacionista, considero que argumentar contra el representacionismo no implica necesariamente inmiscuirse al interior de la clásica controversia en torno al realismo. En otras palabras, si bien se discutirá aquí la concepción estándar de los modelos como entidades distintivamente representacionales, entiendo que esta tesis es suscripta tanto por posturas realistas como antirrealistas, impugnarla no implica un compromiso irreductible a favor o en contra de alguna posición en particular acerca del realismo. Por supuesto que, como veremos oportunamente, las objeciones que presentaremos en esta investigación a partir del análisis de casos específicos propios del ámbito de la química sí condicionan las opciones o variantes posibles. Es decir, rechazando cualquier tipo de naturalismo a la Giere (1999), que suponga que los grandes problemas filosóficos son pseudoproblemas surgidos por una desatención de la práctica científica, pero admitiendo la sentencia estipulada por Fine (1986, 1991) y Kukla (1994) de que no se ha demostrado (y según mi intuición, junto con Fine pero en contraposición a Kukla, no podrá demostrarse) ninguna incompatibilidad entre la práctica científica y el realismo o el antirrealismo, es razonable pensar que los argumentos que apelan a la práctica científica para favorecer uno u otra posición aportan sustancialmente aspectos enriquecedores ya que configuran nuevos puntos de vista que los partidarios de sendas perspectivas tienen que atender. Pues, finalmente, a cada buen argumento realista le corresponde un buen contraargumento antirrealista (y viceversa). En definitiva veremos que las críticas a la perspectiva representacionista no determinan sino que condicionan las posibilidades de las respectivas posturas. En efecto, la crítica contra la asociación entre conocimiento y

realidad establecida en términos de representación puede contribuir al desarrollo de una perspectiva instrumentalista al modo en que lo hace Dewey (1943) o puede contribuir a una perspectiva instrumentalista al modo en que lo hace Sober (1999). La primera perspectiva instrumentalista de tinte pragmatista propuesta por Dewey no es antirrealista, pues no solo este autor se constituye como referente de varios realistas contemporáneos (cfr. Hacking 1983; Giere 1999; Mikenberg, da Costa y Chuaqui 1986), sino que expresamente considera que “el instrumentalismo es, por tanto, completamente realista para las condiciones objetivas o satisfactorias del conocimiento. Los estados de conciencia, sensaciones e ideas cognitivas, existen como herramientas, puentes, pistas o funciones para incidir en una presentación realista de las cosas en las que no intervienen estados de conciencia como velos o representantes.” (Dewey 1905, p. 325). La segunda estrategia, más cercana al positivismo lógico que al pragmatismo norteamericano, se configura contra el realismo clásico entendiendo que el instrumentalismo no es meramente la idea de que las teorías son instrumentos para hacer predicciones (aunque también lo es), sino que el instrumentalismo da un paso más al afirmar que la capacidad predictiva es, al fin de cuentas, lo único que importa (Sober 1999). Desde esta perspectiva, la pretensión de brindar un discurso que logre dar cuenta de cómo es el mundo no se constituye como el objetivo primario de las ciencias. Este segundo tipo de instrumentalismo establece un análisis de los criterios que legitiman las inferencias científicas para evaluar, en función de ellos, los objetivos de la ciencia.

La hipótesis que aquí intentaré defender será que no es la verdad ni la pretensión de representar adecuadamente el mundo, sino el éxito predictivo, lo que se constituye como guía rectora de las inferencias científicas. Sober para ello apela a experimentos mentales; mi propósito es arribar a conclusiones similares pero sobre la base de casos científicos reales. El análisis de algunos modelos científicos en el ámbito de la química favorecerá una perspectiva instrumentalista del conocimiento en química. Considerando el acto de modelización podremos advertir que no es cierto ni que la verdad se constituya como el mejor garante del éxito predictivo ni que brindar una imagen comprensiva del mundo en términos de similitud o algún morfismo configure el propósito de las inferencias científicas (al menos en química). Este punto de vista, sin embargo, no implica, como veremos, adoptar el constructivismo empirista de van Fraassen, negar que las teorías científicas sean

susceptibles de ser verdaderas o falsas, ni afirmar, como lo hicieron los positivistas lógicos, que cuando dos teorías tienen las mismas consecuencias observacionales, entonces son la misma teoría. Quizás el gran equivoco actualmente existente que, a mi modo de ver, injustamente atenta contra el instrumentalismo sugerido en el contexto del positivismo lógico, en favor de un realismo de tinte representacionista del empirismo constructivo o del ficcionalismo, es lo que Sober denomina el efecto pararrayos. El positivismo lógico –con todos sus problemas– y el instrumentalismo nacieron o convivieron juntos, y eso implicó poner “una buena idea junto a muchas malas. Entonces alguien refutará las malas ideas. Cuando eso se consolide la gente pensará que tanto la idea buena como las malas han sido demolidas.” (Sober 1999, p. 3).

Capítulo 2

Binomio modelo-sistema target: el problema de la representación

Resumen: En este capítulo comenzaremos a analizar el primer binomio compuesto por la relación entre modelo y target. Para ello se explicarán las principales teorías sobre la representación esgrimidas en la bibliografía actual. Nuevamente, esta explicación no pretenderá ser simplemente un relato escolástico sobre el tema, sino que intentará, a partir de críticas clásicas y propias, poner en evidencia las dificultades teóricas que presenta cada una de estas perspectivas. En este sentido, en la Sección 2.1 explicaremos ciertos requisitos materiales que toda teoría sobre la representación debe considerar. En la Sección 2.2 identificaremos las dificultades irreparables de las perspectivas naturalistas. Precisamente estas dificultades contribuyeron a que, por unanimidad, todo aquel que defendiera la concepción representacionalista en relación con el proceso de modelado adoptara una perspectiva pragmatista. En la Sección 2.3 expondremos las virtudes y los peligros que se generan cuando la balanza se inclina hacia posturas de tinte pragmatista, intentando elucidar hasta qué punto esta nueva característica ínsita al proceso representacional puede constituirse como una categoría explicativa en sí misma. Luego de evaluar el modo en que, en función de los inconvenientes encontrados, fue evolucionando la discusión, en la Sección 2.4 analizamos críticamente la perspectiva inferencialista en sus tres variantes: la concepción DDI de Hughes, la concepción inferencial de Suárez y la concepción interpretativa de Contessa. Este análisis, tedioso pero necesario, tiene un objetivo primario y fundamental: evidenciar que, así como otrora la concepción semántica rechazó la concepción sintáctica de las teorías aduciendo que la noción de interpretación resultaba confusa y poco clara, la concepción semántica y la tradición que la continuó no ha realizado un trabajo mejor en relación con la noción de representación. Por último, en la Sección 2.5, tomando como referencia la obra de Contessa, pero creyendo que las críticas que se plantearán abarcan el conjunto de las concepciones inferencialistas, brindaremos un criterio propio para determinar el carácter específico de la representación. Este paso resulta

necesario para uno de los objetivos principales de la presente tesis, que será desarrollado en los Capítulos 3 y 4: explicar por qué los modelos incompatibles suponen un quiebre para aquellas concepciones que consideran que la potestad cognoscitiva de los modelos descansa en su potencialidad representativa.

2.1 Los requisitos materiales para una teoría sobre la representación

Como se estableció en el Capítulo 1, el papel protagónico que paulatinamente ha ganado la noción de modelo implicó también un cambio en el modo de entender la actividad científica. El desplazamiento desde el énfasis en las teorías científicas, identificadas a partir de leyes abstractas y universales, al énfasis en los modelos, correlacionados con situaciones concretas y específicas (o, al menos, más concretas y específicas que en el caso de las leyes fundamentales de la ciencia), implicó también un desplazamiento desde la pregunta por la explicación y la predicción a la pregunta por la representación. Bajo la idea de que los modelos, al introducir condiciones específicas, permiten la aplicación de los principios generales de una teoría a sistemas de referencia concretos (es decir permiten dar cuenta de fenómenos de estudio particulares), cobró relevancia la noción de representación como la característica principal de los mismos. Los modelos, como nuevos constructos teóricos intermedios, al adoptar aspectos de los datos que provienen del sistema, se constituyen como agentes del conocimiento científico en tanto y en cuanto logran representar los fenómenos de estudio. Consecuentemente, el problema de la representación se impuso como tema prioritario, porque para algunos autores (Hughes 1997; Morgan 1999; Bueno, French, y Ladyman 2002; Frigg 2002; Suárez 2003; Giere 2004, 2010, 2011; Halvorson 2012) de ello dependía la potencialidad epistémica de los modelos. Sin embargo esta certeza no se tradujo en una concepción mancomunada y homogénea respecto del significado de la noción de representación; por contrario, devino en propuestas divergentes y contrapuestas, producto de las distintas formas en que se intentó cumplimentar las condiciones materiales que toda definición sobre la representación científica presumiblemente debía satisfacer.

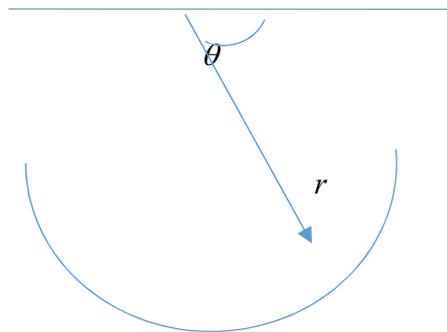
La pregunta principal que se ha intentado solventar para resolver el enigma en torno de la representación puede formularse del siguiente modo: ¿Qué es lo que hace que un objeto material o abstracto, como una ecuación, una maqueta, una estructura, o un objeto material,

se constituya como representante de algo diferente de él? En otras palabras, cuando se intenta resolver el enigma sobre la representación, lo que se busca es completar la expresión ‘un modelo es un artefacto representativo de un sistema si y solo si (...)’. La respuesta a dicha pregunta brindaría un marco de entendimiento respecto de las razones por las cuales un modelo logra representar.

La dificultad que entraña esta pregunta radica en que no puede ser respondida ligeramente dado que debe contemplar aspectos que, a juzgar por algunos autores, parecen ser consustanciales al acto de la representación científica. Es decir, toda respuesta a la pregunta por la representación debe satisfacer una serie de requisitos materiales que permitan dar cuenta de los elementos constitutivos del acto representativo.

Para evaluar estos requisitos analicemos en primer lugar la estrategia usualmente concebida para la modelización de un péndulo. Consideremos un péndulo real cuyo movimiento podemos observar. Un péndulo de color caoba, con hilo encerado en cuyos vértices se anida una pequeña esfera metálica de 300 gramos y la saliente de una estructura de madera que brinda al péndulo su estabilidad y su posibilidad de movimiento. Una primera pregunta podría ser ¿por qué usar modelos para explicar el período de dicho péndulo? ¿Acaso no son suficientes las leyes y el modo en que estas constriñen el comportamiento del péndulo observado? ¿Acaso las herramientas provistas por las teorías, al ponernos sobre aviso respecto de las diferentes fuerzas existentes, no resultan satisfactorias para dar cuenta del comportamiento de los fenómenos del mundo? La bola del péndulo es de un material particular y como tal tiene cierta dureza, cierto grado de descomposición producto del tiempo, cierta capacidad de conducción eléctrica y térmica, cierto peso, cierto volumen, cierta masa y, entre otras propiedades, cierta energía. El hilo, en este caso encerado, también tiene, entre otras cosas, cierta masa y cierto grado de extensibilidad. Por otra parte, tanto la esfera como el hilo tienen muchos grados de libertad: la esfera puede rotar sobre sí misma, vibrar, torcerse, calentarse, enfriarse, encogerse o dilatarse; el hilo puede vibrar, estirarse y contraerse en función del movimiento de la esfera, produciéndose así una transmisión recíproca de energía entre la esfera y el hilo. Podríamos adicionar la resistencia ejercida por el aire, el movimiento del aire producido por la esfera, la flexibilidad del soporte o el movimiento circular al que termina siendo sometido el péndulo producto de la fuerza de Coriolis. Frente a la creciente complejidad del estado de

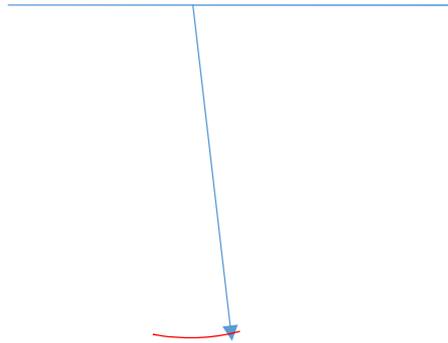
cosas que se nos presenta, la representación científica no se revela como un intento de réplica de lo existente pues, como afirma Elgin, “replicar la realidad sería simplemente reproducir la confusión creciente y zumbante que nos confronta.” (Elgin 2009, pp. 77-78). Las leyes fundamentales no pueden, o difícilmente puedan, aplicarse directamente a esta enorme complejidad. Para ello se requiere de una serie de simplificaciones que modifiquen y alteren el objeto primario de la investigación, haciendo que el péndulo, en este caso, sea interpretado en términos de una cosa que no es entera o simplemente él mismo: un movimiento armónico simple. Esta simplificación genera la eliminación de múltiples variables y de posibles alteraciones que puede sufrir el péndulo real, haciendo, entre otras cosas, que la bola del péndulo carezca de volumen al convertirla en un punto inextenso; que el hilo no tenga masa ni extensibilidad; que desaparezca la fricción con el aire; y que el campo gravitacional sea uniforme. El sentido que conlleva alterar y distorsionar el fenómeno de estudio es que ello permite reducir la situación a solo dos variables relevantes: el ángulo θ y la distancia r .



Adicionalmente, dado que el hilo es inextensible, se puede afirmar que la distancia r será siempre la misma; y por lo tanto, en lugar de tener una ecuación para θ y otra para r , se puede obtener una sola ecuación para ángulo θ :

$$\ddot{\theta} + \frac{g}{r} \text{sen}(\theta) = 0$$

sonde g es la aceleración de la gravedad. Ahora bien, la ecuación que describe el movimiento horizontal no puede describir el movimiento armónico simple a menos que se asuma un ángulo de oscilación cercano a 0.



A su vez, se sabe que para ángulos con oscilaciones mínimas donde $\theta \cong 0$, $\sin(\theta) \cong \theta$ y, por lo tanto,

$$\ddot{\theta} + \frac{g}{r}\theta = 0$$

Gracias a estas simplificaciones se puede resolver la ecuación antepuesta y definir el período T del péndulo como

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{r}{g}}$$

Asumiendo luego que el péndulo parte del reposo con un ángulo θ_0 , se puede obtener la siguiente solución, que brinda cómo cambia el ángulo en función del tiempo:

$$\theta(t) = \theta_0 \text{sen} \left(\sqrt{\frac{r}{g}} t \right)$$

Ahora bien, ¿en qué sentido, o por medio de qué mecanismos, este modelo, absolutamente diferente del sistema inicialmente constituido como objeto de estudio, logra representar aquel péndulo real olvidado y perdido en el contexto de las distorsiones y simplificaciones efectuadas? Se sabe que los modelos se construyen abstrayendo aquellas propiedades, entidades o relaciones que se consideran irrelevantes a la luz del interés que mueve la investigación. La simplificación, al mitigar las complejas interacciones del mundo real, facilita la manipulación, el cálculo y el análisis del objeto de estudio. Tal procedimiento es de vital importancia a la hora de considerar las potencialidades cognoscitivas de los modelos. Pero precisamente en esta característica se encuentra el principal escollo que debe sortear todo aquel que pretenda fundamentar el valor epistémico de los modelos en su capacidad representativa. En efecto, mientras que en la bibliografía

específica (Cartwright 1983; McMullin 1985; Suárez 2003, 2010b; Giere 2004, 2011; Jones 2005; Knuuttila 2009; Morrison 2009; Norton 2012) el proceso de abstracción no despierta demasiada preocupación debido a que, en tal caso, el elemento abstraído se mantiene indeterminado, no sucede lo mismo con las denominadas idealizaciones. El problema peculiar que las idealizaciones generan es que estas, al distorsionar y alterar el sistema, introducen supuestos abiertamente falsos. Sin lugar a dudas, los modelos no tienen que ser idénticos al sistema ya que, en tanto pretenden ser *re*-presentaciones, y no meras presentaciones, se instituyen como un sustituto y, por lo tanto, como algo diferente de aquello que representan. Pero ¿significa esto que los modelos pueden representar aun cuando involucren enunciados falsos al adscribir propiedades o relaciones no correspondidas en el sistema? La perplejidad suscitada en torno a las idealizaciones o *misrepresentaciones* no radica simplemente en su carácter “falsificador”, sino en que se constituyen como elementos imprescindibles, consustanciales, de la actividad representativa. Producto de esto es que el primer y gran requisito material que toda teoría sobre la representación debe incluir es una explicación del modo en que las “*misrepresentaciones*” (*misrepresentations*), distorsionando y falseando lo que efectivamente se presenta en el fenómeno de estudio, producen conocimiento; es decir, una explicación de la razón por la cual los modelos representan, no a pesar de, sino gracias a las *misrepresentaciones*.

Pero este no es el único requisito material que una teoría sobre la representación debe incluir. Para pensar este segundo requisito puede ser útil volver sobre el modelo del péndulo. Evidentemente el modelo del péndulo ideal representa el péndulo de caoba que tengo sobre mi escritorio. Pero dado que el péndulo real, mas no el péndulo ideal, está sometido a fuerzas friccionales, rotacionales, traslacionales e inerciales, absorbe y transfiere energía y, entre otras muchas cosas, se corroe u oscila en ángulos muy lejanos a 0, ¿podemos decir que lo representa *correctamente*? Una condición material que debe satisfacer toda teoría sobre la representación, no solo es explicar la representación en el contexto de las *misrepresentaciones* que se producen a partir de los procesos de abstracción o distorsión tanto de factores relevantes como irrelevantes, sino que consiste en estipular un criterio que permita diferenciar la pregunta en torno de *qué es lo que hace que algo sea representativo*, de la pregunta sobre *qué es lo que hace que algo sea una representación*

correcta. En palabras de Gelfert (2016), cualquier criterio sobre la representación debe poder diferenciar la pregunta constitutiva de la pregunta evaluativa. La primera inquiriere sobre los constituyentes de la representación, lo que hace que un ítem sea o no una representación; mientras que la segunda, de tinte netamente cualitativo, aborda el grado de fidelidad con que los modelos representan. Aquellos que asumen esta distinción y presumen que sendas preguntas deben ser respondidas bajo diferentes criterios, concluyen que hay representación incluso cuando es absolutamente inadecuada. Consecuentemente, desde esta perspectiva, se impone un tercer requisito material: el criterio sobre la representación no puede colapsar con el criterio que evalúa el grado de fidelidad del modelo⁹. Pero esto también implica, a su vez, que toda teoría sobre la representación que abogue por diferenciar estas preguntas mediante diferentes criterios deba poder diferenciar también una representación inadecuada de aquello que no es en absoluto una representación.

Por último, todos aquellos que han intentado responder la pregunta en cuestión mediante analogías con diferentes tipos de representaciones se vieron envueltos en la escurridiza pregunta demarcacionista que, en este caso, se expresa mediante la diferenciación entre las representaciones científicas y las no científicas. Un abogado representa a su cliente; un cuadro puede representar un personaje histórico, un personaje actual o un personaje ficticio, pero también meramente un concepto; los diputados, senadores, presidentes, los sucesivos gobiernos, o incluso el estado con sus instituciones representan un segmento social o una sociedad toda; una silla no representa nada en absoluto o puede representar un estilo o el trabajo de su diseñador; un mapa político representa pero de un modo diferente a un mapa topográfico; una maqueta representa al igual que una ecuación matemática; el modelo del péndulo o del gas ideal representan, así como también el modelo del átomo de Thomson o Rutherford, pero el modelo del éter o del flogisto ¿representan? Y en caso de hacerlo ¿qué

⁹ Efectivamente, en la actualidad, sobre todo a partir de las perspectivas inferencialistas de la representación, esta parece ser la conclusión arribada producto del reconocimiento de que una representación no es una réplica de lo representado y que, por lo tanto, en algún sentido, al distorsionar el sistema o al representarlo parcialmente, toda representación inadecuada es también una representación. Dicho reconocimiento llevó, entre otras cosas, a sospechar que la noción de representación no contiene ninguna connotación valorativa ni normativa. Esta perspectiva, sin embargo, es rechazada por unos pocos autores. Al final del presente capítulo intentaré explicar por qué me inclino por el rechazo de esta perspectiva mayoritaria. Entre otras cosas, intentaré explicar por qué para dar cuenta de las *misrepresentaciones* no se requiere necesariamente responder mediante diferentes criterios la pregunta constitutiva y la pregunta evaluativa.

representan? ¿Podemos encuadrar esta vasta variedad de formas representacionales en un único sistema teórico que las contenga en su diversidad? Tanto quienes pretenden comprender la mecánica de la representación estableciendo analogías con el arte o la cartografía, como quienes niegan tal asociación, se vieron comprometidos con este tipo de preguntas que, en algún sentido, intentan identificar las diferencias y los puntos de contacto entre estas diferentes formas representacionales.

En resumen, cuando CS propuso reemplazar la oscura y problemática noción de interpretación por la noción de representación como un intento de dar cuenta del contenido empírico de las teorías científicas, quizás ni siquiera pudo predecir la “explosión” conceptual que esta noción iba a producir a partir de los años noventa. “Explosión” conceptual que condujo a una dispersión y multiplicación de propuestas disímiles y contrapuestas que al día de hoy se convierten prácticamente en inabarcables. Lo que al principio simplemente se formuló como el problema en torno a los constituyentes de la representación devino, producto de la serie de requisitos enumerados precedentemente, en posturas divergentes y excluyentes. La pregunta original se ramificó en diferentes intentos por formular criterios satisfactorios que permitieran distinguir la noción de representación de la noción de representación adecuada; estipular una respuesta respecto de la especificidad o no de las representaciones científicas; fundamentar la direccionalidad inherente a todo acto representativo; explicar los mecanismos por los cuales un modelo científico permite establecer razonamientos subrogantes¹⁰; fundamentar la representación (adecuada e inadecuada) posibilitando o dejando lugar para legitimar y comprender el carácter *misrepresentativo* consustancial al acto de la representación; y, por, último explicar aquellos modelos que, como el del flogisto o del éter, carecen del target pretendido.

En parte, en vistas de estos considerandos, se han desarrollado líneas de investigación no necesariamente excluyentes. En primer término, se trató de anclar la potencialidad representativa del modelo en una relación de isomorfismo (van Fraassen 1980; Bueno 1997; French 2003; Bueno y French 2011) o de similitud (Giere 1988) entre modelo y sistema target. En segundo término, se intentó brindar una concepción inferencial de la noción de representación para que la misma tuviera sentido simplemente en el contexto de

¹⁰ En términos de Swoyer (1991), un razonamiento subrogante se produce cuando, dados dos objetos distintos A y B (donde en este contexto A es un modelo y B el sistema), la premisa de la inferencia es una proposición acerca de A y la conclusión es una proposición acerca de B.

los razonamientos subrogantes (Hughes 1997; Suárez 2003, 2004, 2015; Contessa 2006, 2007a, 2007b, 2011). Asimismo, se propuso explicar los lazos entre el modelo y el sistema target en términos de des-idealización a partir del uso de técnicas aproximativas (McMullin 1985; Chuang 1999; Jones 2005; Morrison 2005; Knuuttila 2009; Bokulich 2011; Morgan y Knuuttila 2012; Norton 2012). Pero también, en último lugar, el intento por dar cuenta del poder explicativo de los modelos, caracterizándolos como construcciones o como idealizaciones, motivó una línea de análisis tendiente a establecer un paralelismo entre ciertos aspectos de la ciencia y de la ficción (Godfrey-Smith 2009; Suárez 2009a; Cartwright 2010; Contessa 2010; Frigg 2010; Pincock 2011a; Levy 2012).

En este capítulo abordaremos el modo en que las disímiles propuestas fueron cumplimentando los requisitos materiales recientemente planteados. Para ello, en primer lugar abordaremos la estrategia de tinte naturalista que sustenta la representación en términos diádicos mediante una relación de similitud o de isomorfismo. Luego de exponer algunos de los inconvenientes que presenta esta propuesta actualmente desacreditada, analizaremos las vías de solución esgrimidas desde estrategias pragmatistas, analizando, asimismo, sus virtudes y defectos. Posteriormente, analizaremos críticamente las concepciones inferencialistas, tanto en sus versiones deflacionistas (Hughes 1997; Suárez 2004, 2009b, 2015) como en su versión sustancialista (Contessa 2006, 2007a, 2007b, 2011). Por último, tomando como referencia la obra de Contessa, pero entendiendo que lo que allí presentaremos resulta propio de la mayoría de las concepciones inferencialistas, se intentará brindar un nuevo criterio para dar cuenta del modo en que, a mi entender, debe ser interpretada la noción de representación.

2.2 Las concepciones sustancialistas de la representación

En las siguientes secciones explicaremos el modo en que fue evolucionando la discusión en torno a los constituyentes de la representación. En términos generales, para justificar la capacidad representativa, se comenzó trazando un camino desde la canónica, y quizás anticuada, discusión entre los partidarios del isomorfismo y/o la similitud entre representante y representado, hasta llegar a una reivindicación de posturas pragmatistas. En efecto, aun cuando no resulta claro si efectivamente existe o existió un defensor de la perspectiva naturalista del representar, quizás debido a razones puramente propedéuticas lo

cierto es que la noción de representación fue presentada inicialmente en términos de una relación diádica sustentada sobre la base de una propiedad intrínseca compartida entre modelo y sistema. En esencia, el naturalismo propone que la representación “depende de hechos sobre el mundo y no responde de ninguna manera a los propósitos personales, puntos de vista o intereses de los solicitantes” (Suárez 2003, p. 226). Las razones y las ventajas de esta anhelada propuesta son obvias: no solo aleja la representación científica de la arbitrariedad que subyace a la mera estipulación, sino que, en ese mismo acto, garantiza la objetividad.

La perspectiva naturalista estará ligada a una perspectiva reduccionista y sustantiva del representar en tanto que pretenda reducir la noción de representación a una propiedad robusta distinta de ella, e instituir dicha propiedad como una condición necesaria y suficiente del acto representativo. Las dos grandes corrientes que paradigmáticamente se propusieron como ejemplares de esta propuesta fueron el isomorfismo y la similitud. Desde estas perspectivas un modelo M representa un sistema S si y solo si, respectivamente, M o bien es isomorfo o bien es similar a S . Esta caracterización no solo reduce la noción de representación a una propiedad definitoria, sino que, también, al asumir mediante un bicondicional el establecimiento de condiciones necesarias y suficientes, establece una relación no intencional. Por un lado, el isomorfismo se define en términos extensionales sobre la base de estructuras matemáticas: dos objetos, en este caso la fuente o modelo y el sistema, tienen una relación de representación en tanto ejemplifiquen la misma estructura; es decir, en tanto exista entre ellos una relación biyectiva que vincula los elementos del dominio y del codominio. Por otro lado, la relación de similitud es más flexible en tanto que no supone, necesariamente, relación matemática alguna. Desde esta perspectiva, la relación de representación se fundamenta sobre la base de la semejanza (que no necesariamente debe darse en términos pictóricos) de alguna propiedad relevante.

Precisamente debido a las pretensiones recientemente planteadas es que esta línea de investigación fue sometida a críticas de distinto tipo, las cuales coadyuvaban a que, en la actualidad, prácticamente ya nadie defiende abiertamente una postura semejante. Las críticas en cuestión, desarrolladas principalmente en el contexto de las representaciones científicas por autores como Frigg (2002, 2006) y Suárez (2003), pero que tienen como precursor en el contexto de la filosofía de la estética a autores como Goodman (1968),

pueden resumirse a partir de las siguientes afirmaciones:

La similitud y el isomorfismo

1. no pueden fundamentar la representación debido a que no comparten con ella las mismas propiedades lógicas,
2. no pueden constituirse como condiciones necesarias ni suficientes de la representación,
3. no logran dar cuenta de las *misrepresentaciones* o idealizaciones inherentes en todo acto representativo,
4. no permiten capturar la direccionalidad del modelo *hacia* el target.

En cuanto al primer ítem, dado que la estrategia es reducir la representación a la semejanza o al isomorfismo, es dable esperar que sendas nociones compartan las mismas propiedades lógicas que la representación. En efecto, dado que cualquiera de estas dos concepciones naturalistas y sustancialistas plantean una equivalencia entre la relación que proponen y la representación, se esperaría que las propiedades de la representación resultaran equivalentes a las propiedades de la relación propuesta. Pero, afirma Suárez (2003), dado que ese no es el caso, se infiere que dichas concepciones son insatisfactorias. Para ello Suárez recurre a ciertas representaciones pictóricas, en particular al retrato que Diego Velázquez realizó en el año 1650 del Papa Inocencio X, y afirma que la representación no es (a) simétrica, ni (b) reflexiva, ni (c) transitiva, ya que mientras que (a) dado que el cuadro representa al Papa, no es cierto que el Papa represente el cuadro; (b) el cuadro tiene por objeto de representación algo distinto de sí: representa al Papa Inocencio X, mas no se representa a sí mismo; y, por último, (c) las pinturas que luego fueron realizadas por Bacon tomando como modelo el cuadro de Velázquez, representan el cuadro de Velázquez mas no al Papa Inocencio X (Suárez 2003). Sin embargo estas propiedades no se replican ni en isomorfismo ni en la similitud: la primera relación es simétrica, transitiva y reflexiva, y la segunda es simétrica y reflexiva. A partir de estos argumentos Suárez concluye que, al no compartir las mismas propiedades lógicas, la representación no puede ser reducida ni al isomorfismo ni a la semejanza.

La segunda crítica que señala que ni la similitud ni el isomorfismo pueden constituirse como condiciones necesarias y suficientes, se desarrolla del siguiente modo. Respecto de la similitud y su incapacidad para instituirse como condición suficiente, Suárez (2003) reaviva

un argumento que ya fuera formulado por Goodman (1968), y aduce que es fácil imaginar dos elementos similares que no contengan relación de representación alguna. En este sentido, la noción de similitud no es coextensiva con la noción de representación, y por lo tanto, no puede constituirse como su garante, dado que tiene un marco de aplicabilidad mucho más amplio¹¹. Pero, a su vez, si se pretendiera resolver el inconveniente generado por el hecho de que cualquier cosa es similar a cualquier cosa apelando a una propiedad relevante en función de la cual decimos que el modelo representa el sistema, ello tendría consecuencias aún más nefastas. No solo llevaría a una circularidad poco virtuosa, sino que también trivializaría la noción misma de representación con formulaciones del tipo “A representa B si y solo si es similar en aquellos casos en los que A representa B” (Suárez 2003, p. 235). En conclusión, dado que es cierto que cualesquiera dos objetos son similares entre sí en una infinidad de propiedades o relaciones no relevantes, mas no que cualesquiera dos objetos están siempre en alguna relación de representación, la similitud no resulta ser una condición suficiente del representar. Pero a su vez, ni siquiera puede instituirse como una condición necesaria. En primer lugar, porque existen representaciones, como una ecuación matemática o el *Guernica* de Picasso, que no involucran relaciones de similitud evidentes entre los relata de la representación (ver también Boesch 2019a). Pero, en segundo lugar, y fundamentalmente, porque de ser una condición necesaria, lo sería solo trivialmente. En efecto, dado que todo objeto es similar en algún aspecto a cualquier otro objeto, pero no es cierto que todo objeto sea una representación de otro, la similitud, perdiendo su potestad cognoscitiva, sería condición tanto de la representación como de la no representación.

En lo que respecta al isomorfismo, se han extraído similares conclusiones. En efecto, si bien es cierto que, gracias a la rigurosidad matemática que esta noción supone, desaparece

¹¹ Ejemplos clásicos que muestran esta insuficiencia son dos libros que, siendo similares entre sí, no se representan, o la cara de Churchill grabada accidentalmente en la arena. Un ejemplo más esclarecedor, dado que no solo resulta verosímil sino que también combina las dos características definitorias del representar (a saber: la similitud y la extracción de inferencias), es el que formula Toon en su artículo “Similarity and scientific representation”. Allí propone imaginar que un individuo, en una concesionaria, extrae cierta información de un auto a partir del testeo de un primer auto de la misma marca y modelo. Evidentemente, afirma, a pesar que se están cumpliendo dos condiciones supuestamente definitorias de la representación (a saber, la similitud y la extracción de inferencias), de ningún modo diríamos que el primer auto se constituye como vehículo representacional del segundo (cfr. Toon 2012).

el problema suscitado por las propiedades no relevantes, en tanto que el isomorfismo requiere una relación biunívoca entre ambos dominios, donde todos y cada uno de los elementos de un dominio deben encontrar su contrapartida en el otro; como así también desaparece el problema de la trivialidad, puesto que, a diferencia del caso de la similitud, no es cierto que todo sea isomorfo a todo, nada de ello contribuye a instituir al isomorfismo en una condición necesaria y suficiente del representar. En un primer momento, Frigg (2002) y Suárez (2003) plantean, para el caso del isomorfismo, contraejemplos extraídos del ámbito del arte o de la cotidianidad. Frente a ello los partidarios de esta perspectiva estructuralista denuncian el supuesto de impulsar una discusión sobre las representaciones científicas a partir de las representaciones artísticas. En este sentido, aunque admiten que instituir una diferencia categorial entre estos tipos de representaciones obstruye la posibilidad de esgrimir una teoría general sobre la representación, afirman que, dado que ni los mecanismos representativos ni los procesos de identificación de una obra artística y científica coinciden, no resulta lícito objetar una teoría sobre la representación científica sobre la base de argumentos basados en la representación en el arte (French 2003; Bueno y French 2011)¹². Ahora bien, aun admitiendo la razonabilidad de la respuesta, ello no implica que el isomorfismo logre instituirse como una condición suficiente. Para mostrar el punto, Frigg (2002) y Colin (2013) han apelado al concepto de *realización múltiple*. Una realización múltiple implica que una misma estructura isomórfica puede satisfacer dos sistemas o fenómenos diferentes. Por ejemplo, se sabe que el sistema del péndulo es isomorfo a ciertos sistemas eléctricos, sin que ello implique que uno represente el otro, ni que el modelo del primero sea también, representativamente hablando, el modelo del segundo. Pero si esto es así, el isomorfismo no logra afianzarse como un requisito suficiente de la representación porque habría estructuras isomorfas sin representación.

Pero, por otro lado, el isomorfismo presenta una dificultad mucho más grave por la cual preocuparse. La razón por la cual no logra mostrarse como condición necesaria radica en que no logra incluir dentro de su marco conceptual una característica consustancial a la representación: las *misrepresentaciones*. En este sentido, el primer criterio corre con una

¹² No conformes con esta estrategia, a su vez, los autores argumentan que, aun cuando fueran legítimas las conclusiones, no serían concluyentes, pues, apelando a la teoría pictórica de Budd (1993), aseveran que hay margen para un análisis del arte en términos de estructuras isomorfas (cfr. French 2003).

leve ventaja, ya que quienes defienden la capacidad representativa del modelo a partir de la similitud pueden afrontar con relativo éxito el fenómeno de las *misrepresentaciones* aduciendo que lo único que se requiere es que ambos dominios tengan al menos alguna propiedad –relevante– similar. La incapacidad del isomorfismo para desplegar una estrategia del mismo calibre radica en que, dado que la rigurosidad matemática del concepto exige una relación biyectiva, es decir, una relación de uno a uno para cada uno de los elementos de los respectivos dominios, un modelo o bien es una descripción isomórfica del fenómeno, o bien no es una representación en absoluto (cfr Frigg 2002; Suárez 2003; Knuuttila 2005a; Knuuttila y Boon 2011). En este sentido, una de las acusaciones es que esta propuesta no logra diferenciar una representación de una representación adecuada: dado que el isomorfismo impone una estricta clasificación, para el caso que se cumpla, habría representación, en particular, una representación adecuada; pero, para el caso que no se cumpla, no habría representación alguna. En este sentido, dado que la representación supone *misrepresentación*, pero que el isomorfismo no la incluye, se puede concluir que el isomorfismo no es una condición necesaria ya que habría representación sin isomorfismo. A los fines de afrontar esta dificultad los autores identificados como partidarios de *la nueva concepción semántica*, han diseñado en textos más recientes una nueva estrategia ligeramente diferente para fundamentar la representación sobre bases estructuralistas (French y Ladyman 1999; Bueno, French y Ladyman 2002, 2012; da Costa y French 2003; Bueno y French 2011; French 2013; Gelfert 2016). Para ello debilitan los requisitos impuestos para la representatividad, afirmando que lo único que se requeriría para que haya representación es que se instituya entre modelo y sistema una relación *parcialmente* isomórfica. Como ya vimos en el Capítulo 1, la ventaja de esta estrategia es que permite clasificar todas las tuplas en tres clases: las que pertenecen a la relación (R_{i1}); las que no (R_{i2}); y aquellas cuya pertenencia a la relación se mantiene indeterminada (R_{i3}). Precisamente esta última categoría, imprescindible para que el isomorfismo no devenga total, permitiría incluir, a decir de los autores, las *misrepresentaciones* y, de este modo, recuperar la condición necesidad que se había perdido.

Sin embargo, esta estrategia, lejos de mejorar la situación, la empeoró aún más. En efecto, al debilitar el morfismo, no solo fue incapaz de dar cuenta fielmente de las idealizaciones y aproximaciones, sino que reprodujo exactamente los mismos problemas de

la similitud que en un inicio pretendía evitar. Respecto de lo primero, Contessa (2006) plantea que el análisis basado en las estructuras parciales no puede dar cuenta de las aproximaciones porque estas no se evalúan en función de si se preserva o no R , sino por el grado en que la misma lo hace. Dado que la definición de estructura parcial estipula pares ordenados donde la relación se mantiene, no se mantiene, o no sabemos si se mantiene o no, la estructura lógico-matemática brindada por este aparato conceptual no resulta pertinente para explicar fructíferamente esta diferencia cuantitativa. Pero, paralelamente, tampoco puede dar cuenta de las idealizaciones porque en estas “no es que no esté determinado si un objeto dado en el modelo ejemplifica o no una determinada propiedad, sino que un objeto en el modelo tiene una propiedad mientras que el objeto correspondiente en el sistema real tiene la propiedad complementaria” (Contessa 2006, p. 374). Recordemos que una estructura parcial supone un R_i que define la estructura $\langle R_{i1}, R_{i2}, R_{i3} \rangle$, donde R_{i1} , R_{i2} , R_{i3} son conjuntos disyuntos y R_{i1} es el conjunto de pares ordenados que pertenecen a R_i ; R_{i2} es el conjunto de pares ordenados que no pertenecen a R_i y R_{i3} es el conjunto de pares ordenados que no sabemos si pertenecen o no a R_i —es decir, que permanecen indeterminadas—. Para que exista una relación parcial, R_{i3} se vuelve crucial, pues sin ella la relación sería total. Ahora bien, un proceso de idealización es aquel en el cual *se sabe* que algún elemento del modelo no tiene su contraparte en el sistema. Consecuentemente dicho proceso no puede ser capturado por razones evidentes por R_{i1} , pero tampoco lo puede ser por R_{i2} . Mientras que una idealización se refiere a una propiedad o relación que existe en el modelo pero no en el sistema, R_{i2} se refiere solo al conjunto de n -tuplas que no están bajo la relación R_i ; es decir, se refiere a las relaciones o propiedades que no se preservan ni en el modelo ni el sistema. Asimismo tampoco puede ser capturada por R_{i3} , dado que una idealización no es estrictamente un caso de indeterminación sino una determinación de que dicha propiedad o relación no tiene su contraparte en el sistema (cfr. Pincock 2005; Contessa 2006; Frigg y Nguyen 2017). En conclusión, a pesar de las pretensiones de los nuevos estructuralistas, este análisis persiste con los mismos problemas que presentaba el isomorfismo y, al no poder dar cuenta de las idealizaciones ni de las aproximaciones, tampoco logra constituirse como condición necesaria.

Como dijimos, esta estrategia además empeora la situación, ya que pone el isomorfismo en igualdad de condiciones con la similitud. El problema estriba en que esta postura oscila

entre la rigurosidad propia del formalismo que supone y la problemática flexibilidad y laxitud inherente a la similitud como consecuencia de la vaguedad del alcance del término ‘parcialmente’. En efecto, el enfoque basado en el isomorfismo, motivado por la idea de establecer la relación de representación sobre rigurosas relaciones formales, se encontró, precisamente como consecuencia de tal rigurosidad, con sus propias limitaciones. Pero, en su intento por superarlas mediante la postulación de diversos morfismos instituidos sobre estructuras parciales, el enfoque estructural flexibilizó los criterios al punto tal de contraer los mismos problemas inherentes al enfoque de la similitud que en un principio pretendía evitar. En este sentido, según Contessa, los defensores del enfoque de estructuras parciales, al insistir en que el isomorfismo parcial puede constituirse como vía de escape, no hacen más que empeorar la situación. Esto se debe a que esta categoría conceptual, al introducir R_{i3} , trivializa (tal como lo hacía la similitud) la representación. En efecto, dado que toda estructura tiene como caso límite una subestructura parcial del tipo $A = \langle A, R_i \rangle$, donde el dominio A tiene un solo individuo para el cual está indeterminado si preserva o no la relación R_i , y dado que todas estas estructuras son parcialmente isomorfas entre sí, entonces cualquier modelo y cualquier sistema ejemplifican estructuras parcialmente isomorfas; pero si esto ocurre entonces cualquier modelo representa cualquier sistema (Contessa 2006). Es decir, la imposibilidad de definir el alcance de la parcialidad conlleva a que casi cualquier cosa pueda ser parcialmente isomorfa a cualquier otra cosa y, por lo tanto, fatalmente, casi cualquier cosa pueda representar a cualquier otra.

Los autores de esta propuesta instituida sobre estructuras parciales rechazan abiertamente esta acusación, aduciendo que “no todo puede servir como modelo científico de un sistema físico. Si no existen las relaciones *adecuadas* entre las propiedades *relevantes*, el «modelo» no se considerará científico.” (French 2003, p. 1478. Las cursivas no están en el original). La estrategia tiene un componente doble. En primer lugar, se establece que no cualquier modelo puede ser un modelo científico porque, de hecho, algunos lo son y otros no. En este sentido, mientras que el trabajo del científico sería identificar los modelos adecuados, la tarea del epistemólogo es diferente e independiente: su tarea radica en brindar una comprensión en torno al por qué esos modelos elegidos resultan representativos. Pero una vez más, esta última estrategia resulta infructuosa porque ni siquiera logra su objetivo. Si el criterio instituido sobre el isomorfismo parcial es común tanto a los modelos efectivamente

utilizados como a los que no los son, entonces dicho criterio estrictamente no logra establecer una demarcación clara entre los modelos que efectivamente se instituyen como representaciones y los que no. Al fin de cuentas lo que explica la ventaja de un modelo por sobre otro no es el isomorfismo parcial, sino el uso que los científicos hicieron del mismo. Es decir, si este fuera el caso, lo que determinaría la representatividad del modelo, el elemento en el cual radicaría su potencialidad representativa, no estaría dado por la relación estructural, sino por el uso que los científicos decidieron conferirle.

Pero de insistir en que esto no es así ya que, al haber relaciones y propiedades adecuadas e inadecuadas, no es cierto que todo sea parcialmente isomorfo a todo, la propuesta se vuelve ociosa. Al fin de cuentas, cómo se podrían determinar dichas relaciones y propiedades en el marco de una propuesta naturalista y sustancialista del representar; ¿acaso estas relaciones están dadas y definidas por el sistema y el modelo? Lamentablemente esta opción es inviable ya que no puede decirse que exista relación de isomorfismo alguna que esté intrínsecamente determinada. Y esto no puede suceder porque, como afirma Frigg en “Models and representation: why structures are not enough”, no solo los modelos y los sistemas no son en sí mismos estructuras, sino que tampoco se los puede presentar con única estructura definida. En efecto, dependiendo del dominio y la relación que se seleccione podremos configurar diferentes estructuras no isomorfas entre sí. Consecuentemente, qué cuenta como objeto o relación en un sistema dado es una pregunta sustancial que no está intrínsecamente determinada y que condiciona la conformación de la estructura misma¹³ (para más detalles ver Frigg 2002). Esta dificultad existente en la configuración de la estructura, por supuesto, se replica exponencialmente en la configuración de la sub-estructura requerida en el contexto del isomorfismo parcial.

En conclusión, luego de recorrer rápidamente el corazón de este tipo de críticas instituidas en la bibliografía clásica, se hace claro que el pecado capital de este tipo de perspectivas sustancialistas y naturalistas es que no contienen la direccionalidad supuesta en todo proceso representativo. La direccionalidad se constituye como un rasgo ineluctable

¹³ Es cierto que los defensores de la concepción estructuralista terminan aceptando que, para establecer la estructura, se requiere apelar a la descripción del sistema para que, de este modo, se identifiquen las propiedades y relaciones relevantes. Pero esto no solamente atenta contra el objetivo de los semanticistas de identificar una teoría con elementos no lingüísticos (Chakravarty 2010a), sino que también implica que “hay más en la representación epistémica que estructuras y morfismos” (Frigg y Nguyen 2017, p. 75).

del representar ya que en su carácter subyace la pretensión de que el modelo represente el sistema (y no su inversa), y que lo haga respecto de un sistema particular (respecto de aquel que pretende representar). Sin embargo, y he aquí el principal escollo que habilita las críticas antedichas, dicha direccionalidad está ausente, producto de su simetría, tanto en la similitud como en el isomorfismo total o parcial.

2.3 La salida pragmática

La imposibilidad de comprender la representación a partir de una propiedad natural de los modelos que pudiera dar cuenta de la complejidad y heterogeneidad existente condujo a repensar el concepto de modelo y la propia noción de representación desde una nueva perspectiva. La estrategia fue tratar de apelar a una salida pragmatista como método para solucionar el problema. En el contexto de una perspectiva pragmatista la representación no es concebida como un hecho bruto del mundo o un estado de cosas que sucede entre objetos, sino esencialmente como una acción que realiza el científico. En este sentido, se sugiere que para entender el acto representativo debemos mirar la práctica científica y prestar especial cuidado al modo en que la representación es *usada* pues “no hay representación excepto en el sentido de que algunas cosas se usan, se hacen o se toman para representar algunas cosas como así o así” (van Fraassen 2008, p. 23).

Como máximo exponente de esta tradición, Giere (2004, 2010) propone un enfoque perspectivista donde la representación ya no depende exclusivamente de los elementos intrínsecos del modelo, sino que está supeditada a la mirada desde la cual el investigador pretende demarcar el sistema en función de ciertos criterios metodológicos. En este contexto introduce como elemento primario de la representación la intencionalidad del agente, ampliando el cuadro de referencia y advirtiendo que la expresión “el modelo S representa T” es simplemente una abreviación de “el agente C usa un modelo S para representar un sistema T con un propósito X”. Sobre la base de este pragmatismo Giere plantea un tipo de perspectivismo, donde los distintos modelos son analizados como múltiples visiones que dan cuenta de diferentes aspectos del sistema en función de la práctica de la investigación. Diferentes perspectivas de análisis adjudicarán diferentes características, ya que el sistema tendría una propiedad u otra en función del aparato conceptual o las reglas metodológicas relevantes para cada contexto de la investigación.

La estrategia evidentemente está destinada a desnaturalizar la fuente de la representación, abandonar la pretensión de reducir la representación a elementos intrínsecos propios del modelo y el sistema, e instituir una relación triádica al sumar al agente al binomio modelo-sistema: el agente, constituyéndose como elemento vinculante, garantiza la direccionalidad y la asimetría constitutiva de la representación. La intencionalidad rompe la simetría restituyendo la direccionalidad del modelo hacia el sistema y anulando la trivialización de la representación. En efecto, aun cuando todo puede ser similar o parcialmente isomorfo en algún sentido a cualquier otra cosa, es el agente el que, en función de los intereses teóricos o metodológicos de la investigación, selecciona las propiedades relevantes sobre las cuales se fundamente la representación (cf. Giere 2011).

Ahora bien, como es de suponer, algunos autores manifestaron cierta insatisfacción ante la clausura de la discusión que la concepción pragmatista venía a proponer. Sin atentar contra ella, Frigg (2002) denuncia el modo en que la intencionalidad fue introducida como factor explicativo del representar, afirmando que “cuando nos preguntamos cómo funciona la representación, lo que nos gustaría saber es qué hace exactamente el científico cuando usa S para representar T. Si decimos que intenta representar T por medio de S, meramente parafraseamos el problema y no lo respondemos, porque lo que queremos saber es qué involucra dicha intención” (Frigg 2002, p. 19). Del mismo modo que decir que cuando usamos una palabra tenemos la intención de usar esa palabra, no agrega ni explica el proceso referencial; decir que cuando usamos un modelo para representar un sistema tenemos la intención de usar ese modelo para representar ese sistema, tampoco explica nada pues simplemente parafrasea como solución aquello que era un signo de interrogación. Ante la pregunta respecto de lo que hace que un científico use un modelo para representar un sistema, simplemente se responde que el científico usa ese modelo con la intención de representar el sistema. Sin embargo, evidentemente la pregunta fundamental parece perdurar, pues queda pendiente saber por qué usa ese modelo y no algún otro. Pero a su vez, desde esta perspectiva se vuelve difícil explicitar qué es lo que queda del representacionalismo ya que el mismo, nuevamente, se vuelve trivial. El proyecto que pretendía explicar el valor heurístico y cognoscitivo de los modelos en términos representacionalistas se debilita de modo tal que, nuevamente, cualquier cosa representa a cualquier cosa mientras esta sea la intención del agente. Asimismo, la defensa de tesis

realistas clásicas que suponen como garante de dicho realismo el proceso representativo, se diluye en la voluntad de un agente que proyecta pero ni explica ni representa. En este sentido, acertadamente Roman Frigg plantea que si bien este giro pragmatista puede interpretarse como una victoria, es indudablemente una victoria pírrica: “El ingrediente crucial es la intención del agente y, de hecho, el isomorfismo (y la similitud) se ha convertido en un estilo de representación o en un criterio normativo para una representación precisa” (Frigg y Nguyen 2017, p. 70. El paréntesis no está en el original; sin embargo el mismo juicio se establece previamente cuando el texto evalúa la noción de similitud). En efecto, aquellos factores que podrían explicar la razón por la cual un científico usa un modelo y no otro, y podrían explicar, también, el valor cognoscitivo que el acto representativo genera, quedan reducidos o bien a una cuestión de estilo o bien a una cuestión normativa. Si ni la similitud ni los morfismos fundamentan la representación, sino que esta se explica y fundamenta por su uso, entonces ninguno de estos conceptos resultan significativos para explicarla. A su vez, si el uso pretende ser explicativo entonces el proceso no solo corre el riesgo de resultar redundante y trivial, sino, peor aún, arbitrario.

Esta preocupación manifiesta en Frigg se replica también en los estructuralistas ya que estos aceptan que “«construir» intenciones particulares en el mecanismo de representación sería desastroso” (Bueno y French 2011, p. 887). El peligro radica en que, fatalmente, una atenta selección de los individuos y relaciones haría que cualquier teoría fuera trivialmente adecuada. Atrapados entre la insuficiencia y la arbitrariedad intentan evitar esta fatal consecuencia rechazando la legitimidad de introducir cualquier tipo de analogía entre el arte y la ciencia. A tal efecto, niegan que la intencionalidad tenga el mismo grado de incidencia o la misma finalidad en sendas áreas del conocimiento humano. En otras palabras, aun aceptando que ciertos factores pragmáticos y contextuales pueden jugar un papel en la selección de las relaciones relevantes, los estructuralistas intentan desembarazarse del carácter pírrico de la victoria pragmatista al impugnar la intencionalidad como un factor explicativo, suficiente o constitutivo del proceso de representación en ciencia.(cfr. Bueno y French 2011)

En este sentido, frente al ya clásico caso imaginario instituido en el contexto de la tradición filosófica en torno a los alcances que tiene el trazo de una hormiga cuando, por coincidencia cósmica, deja marcada en la arena la cara de Churchill, French afirma que la

magnitud que dicho caso tiene en el contexto del arte no es el mismo para el caso en que dejara inscripta las ecuaciones de Lorenz (o cualquier otra). Mientras que ambas son, en tanto coincidentes, a lo sumo parcialmente isomorfas, no es el caso que la segunda, para constituirse como representación de los fluidos, requiera de la intencionalidad del agente. Para justificar este punto de vista la estrategia es revertir la pregunta por la representación por la pregunta de tinte ontológica que remite al modo en que se identifica una obra en arte y ciencia. Mientras que la procedencia causal resulta relevante para constituir a una obra de arte como tal, ya que solo la intencionalidad del artista configura un objeto como objeto de arte¹⁴, la misma suerte no corre para los trabajos científicos. Un trabajo científico, como la teoría de la relatividad especial, no puede, a diferencia de un cuadro, identificarse, denotativamente, simplemente señalando el manuscrito de Einstein. En este sentido, desde una perspectiva semanticista donde las teorías no se reducen a entidades lingüísticas, no habría ninguna diferencia entre las ecuaciones de Einstein escritas en los respectivos manuscritos o milagrosamente grabados en la arena, ya que, estrictamente, en ningún sentido dichas marcas (de tinta o de arena) constituyen la teoría relativista. Evidentemente la estrategia es eliminar las diferencias entre las marcas de tinta y de arena para eliminar el problema. En efecto, dado que la diferencia entre la inscripción en la arena y en el manuscrito, aparentemente, “parece evaporarse” (French 2003, p. 1474), y dado que las ecuaciones de Einstein en el manuscrito representan aun cuando la teoría, reductivamente, no se encuentra allí, lo mismo se debería concluir respecto de las ecuaciones milagrosamente configuradas en la arena. Es decir, dado que la teoría científica no está específicamente en los manuscritos de Einstein ni en los garabatos dibujados en la arena (hayan sido o no confeccionados intencionalmente) y, dado que la teoría es algo más que la inscripción en la arena (o en los manuscritos), Bueno y French afirman que “la cuestión de las intenciones particulares detrás de esa inscripción específica se vuelve menos significativa cuando se considera la naturaleza representativa de la teoría.” (Bueno y French 2011, p. 886). Los autores juegan con cierta ambivalencia retórica que nos obliga a no interpretar literalmente sus palabras cuando afirman que si bien las teorías científicas no están en sus escritos ya que no se reducen a ellos, en algún sentido “sí están «allí» en la

¹⁴ Pensemos por ejemplo en aquellas obras de arte conceptuales contemporáneas cuya única diferencia respecto de un objeto ordinario es que hayan sido catalogadas como ‘artísticas’ y/o sean (oportunamente) expuestas en algún museo.

arena (...) de una manera en que no lo está la obra de arte respectiva” (French 2003 p. 1473). Asumo, pues no se hace explícito en las respectivas obras que abordan específicamente esta problemática, que las teorías “están” y no están allí en el sentido mencionado: aun cuando no sean entidades lingüísticas y por lo tanto no puedan identificarse con sus escritos, cualquier persona que haga un uso competente del lenguaje podrá entender el sentido de aquello que las respectivas ecuaciones (en la arena o en el manuscrito) representan.

Ahora bien, este argumento, además de ser poco claro no parece adecuado. En particular se presenta como incompleto porque carece de la premisa que vincule el problema de la identificación con el problema de la representación. No resulta evidente que la pregunta por la representación pueda responderse en función de la pregunta ontológica respecto de la identificación. En efecto, del hecho que respecto del modo en que se identifica una teoría no se pueda establecer diferencia entre la tinta de los manuscritos y el grabado fortuito en la arena, no se deduce que no haya diferencia respecto del modo en que sendos escritos representen. Recordemos que la pregunta no era si la ecuación (grabada en arena o en papiro) constituye o no la teoría científica, sino si representa o no representa. Pero aun cuando lo último, en algún sentido, dependa de lo primero, eso no significa que, al anular la diferencia respecto de la pregunta identificatoria se anule o se resuelva la pregunta respecto de la representación. En efecto, asumamos que la teoría de la relatividad no está *en* los manuscritos de Einstein, asumamos también que la teoría representa, y asumamos por último que si una persona se encuentra con las ecuaciones grabadas en la arena entenderá qué es lo que representa. ¿Acaso esto nos permite vislumbrar por qué o en virtud de qué las ecuaciones representan? Es cierto que si una persona competente del lenguaje encuentra las inscripciones de la relatividad especial grabadas en la arena puede interpretar el aspecto representacional de las mismas, independientemente de si las inscripciones particulares encontradas hayan sido confeccionadas fortuita o intencionalmente. Pero incluso en esta situación la incógnita inicial se mantiene pues, en esencia, el problema “viene de antes”. El científico que interpreta el grabado lo hace porque ya ha aprendido la relatividad especial y en ese proceso de aprendizaje ya ha aprendido junto con ello, aquello que la teoría representa. Pero cuanto desde la filosofía de la ciencia se intenta explicar cómo o en virtud de qué representa, la propuesta estructuralista se ve encerrada en un círculo vicioso. La

lógica de la argumentación podría reconstruirse del siguiente modo. En una primera instancia los estructuralistas plantean que los modelos son estructuras definidas en términos set-teóricos. Esta definición ontológica invita a una solución también estructural respecto del problema sobre la representación: los modelos representan en tanto mantiene una relación parcialmente isomorfa con los sistemas representados. Sin embargo, tanto la estructura atribuida al modelo y al sistema, como la sub-estructura que definirá la estructura parcial sobre la cual se constituye el isomorfismo parcial, dependerán de la selección de los individuos y relaciones relevantes. Frente a este escenario los estructuralistas aceptan que los factores pragmáticos y contextuales cumplen un rol en el contexto de la representación. Pero, ante la amenaza de la arbitrariedad que podría conllevar el hecho de brindar un rol preponderante a los aspectos intencionales (dado cualquier cosa podría representar cualquier cosa ante una cuidadosa y selectiva organización de las relaciones e individuos) los defensores de esta postura retroceden un paso y afirman que lo constitutivo de la representación, aquello en donde fundamentalmente descansa la representación, no es la intencionalidad sino el peculiar morfismo compartido entre ambos dominios. ¿Pero no eran estos dependientes de los factores contextuales que determinaban las relaciones apropiadas? Si la representación depende del morfismo y este depende de los factores pragmáticos que definen a las estructuras y sub-estructuras sobre las cuáles se instancia las relaciones mórficas ¿la representación no termina dependiendo de los factores pragmáticos? En definitiva, la pregunta central que aún queda sin responder es ¿dónde radica la representación? Podría aducirse plausiblemente que las restricciones devienen de ciertos aspectos metodológicos propios de la actividad científica. Sin embargo, en primer lugar es importante considerar que los aspectos metodológicos no excluyen sino que incluyen aspectos fuertemente pragmáticos; y, en segundo lugar, para el caso que esta fuera la respuesta esgrimida a los fines de que la teoría sobre la representación no resulte incompleta e imprecisa, se echa de menos alguna explicación del modo en que, juntos con los aspectos estructurales, estas reglas metodológicas contribuirían a restringir y explicar de un modo no arbitrario el proceso de selección y consecuentemente el proceso de representación científica.

En síntesis, la salida pragmatista pudo salir al rescate de la representación poniendo en consideración un aspecto evidente: es el científico el que usa el modelo para representar el

sistema. Sin embargo, esto no resultó ser una panacea, pues en el mismo movimiento en que le restituyó la direccionalidad, lo condujo al insondable mundo de la arbitrariedad.

2.4 La concepción inferencial

Como ha quedado de manifiesto en la sección anterior, la reivindicación colectiva, por parte de los filósofos de la ciencia, de la representación como una actividad producida por el agente en función de sus expectativas y objetivos no implicó una clausura de la discusión. Una vez puestos en consideración los aspectos pragmáticos, emerge el problema en torno a cómo encontrar un punto de equilibrio entre la requerida objetividad científica en el contexto de la representación y la voluntad del agente.

Algunos autores como Callender y Cohen (2006), en “There is no special problem about scientific representation”, recogen el desafío que plantea el hecho de que cualquier cosa pueda representar cualquier cosa, asimilan el golpe, y concluyen que, dado que la característica distintiva de la representación es la mera estipulación, no hay realmente ningún problema con la representación científica. La propuesta de los autores se configura en función de dos estrategias diferentes pero complementarias. La primera de ellas es adoptar el marco de un “Gricianismo General” y eliminar el problema específico de las representaciones científicas aduciendo que, al igual que las representaciones artísticas, cartográficas o lingüísticas, no son más que representaciones derivadas que pueden reducirse a una representación fundamental: las representaciones mentales. La razón de ser de la representación en general es que el representante produce, vía estipulación, un contenido mental respecto del representado. La segunda estrategia para legitimar esta propuesta es insistir en diferenciar la pregunta constitutiva de la pregunta evaluativa o normativa. La pregunta en torno a los constituyentes fundamentales de la representación es respondida apelando a la estipulación: lo fundamental de toda representación (incluida la científica) es que se estipule un “vehículo” como representación de un target. De un modo no problemático (he aquí la razón de por qué no existiría ningún problema con la representación científica), cualquier modelo puede representar cualquier sistema. La supuesta incomodidad que tal afirmación parece generar se anula cuando se advierte de la necesidad de separar las preguntas recientemente planteadas. La delimitación del campo de los modelos *convenientes* en ciencia (para explicar por qué se usan ciertos modelos y no

otros) no cae dentro del ámbito de la pregunta constitutiva que ellos pretenden responder, sino dentro del campo de la pregunta normativa en torno a cuándo una representación científica es adecuada (cfr. Callender y Cohen 2006). En este sentido no habría problema con la representación científica porque la potestad de la estipulación como garante de la representación está relacionada con la pregunta constitutiva, pero nada dice de, pues no se relaciona con, la pregunta en torno a los motivos por los cuales algunos modelos científicos son mejores que otros.

Ahora bien, parece razonable observar que, si bien es cierto que el modelo como representación es un sustituto que está en lugar de otra cosa, eso no implica que sea una especie de signo con simples funciones referenciales. El punto crucial es que mientras que la estipulación es una acción absolutamente convencional y arbitraria, la representación, al menos la representación científica, pretende no serla. ¿Acaso es epistémicamente lo mismo representar el átomo mediante el modelo de Bohr que mediante un sauce llorón? Callender y Cohen aceptan que, si bien en principio cualquier cosa puede representar cualquier cosa, en la práctica algunas representaciones resultan más convenientes que otras: “La similitud geométrica entre las manos derechas humanas vueltas hacia arriba y la geografía de Michigan hacen que la primera sea una forma particularmente útil de representar ubicaciones relativas en Michigan, y normalmente sería una tontería (¡pero no imposible!) usar una mano izquierda vuelta hacia arriba para esto, ya que normalmente se dispone de un vehículo representacional más fácilmente interpretable (...). Esto no quiere decir que el mismo objetivo no pueda representarse con una mano izquierda hacia arriba, o cualquier otra cosa, sino que la similitud/isomorfismo puede hacer que una de estas opciones sea más conveniente que la otra” (Callender y Cohen 2006, p. 76). La pregunta que surge naturalmente, y que pertinentemente realiza Contessa (2007a) a partir de estas declaraciones, es si el hecho de que algunas representaciones sean más convenientes y que esta conveniencia se deba, en parte, producto de ciertas características del vehículo y del target, no atenta contra la pretendida explicación convencionalista de la representación. En efecto, si la selección de un vehículo depende de ciertas características intrínsecas a él, entonces la decisión ya no es en ningún sentido una decisión puramente convencional. Evidentemente Callender y Cohen podrían insistir con la mentada distinción entre la pregunta constitutiva y la pregunta normativa, aduciendo que mientras que su trabajo tiene

por objeto la primera pregunta, la crítica en cuestión corresponde a la segunda. Sin embargo esta replica no parece suficiente. La distinción analítica entre lo que puede constituirse como objeto representativo y lo que de hecho se constituye como tal no resulta pertinente, pues toda teoría sobre la representación debe considerar los objetivos por los cuales dicho acto se realiza. Dado que uno de los objetivos principales de la representación científica es generar alguna información sobre el sistema que se pretende estudiar, una teoría sobre la representación que no contempla dichos objetivos como constitutivos de la representación científica no resulta una teoría satisfactoria. En otros términos, si la propuesta no contempla la razón de ser de una representación científica, de mínima, esa propuesta es incompleta. En este sentido acertadamente Frigg advierte que “solo porque cualquier cosa pueda, en principio, ser una representación de cualquier otra cosa, no se sigue que un mero acto de estipulación sea suficiente para convertir M en una representación de T” (Frigg y Nguyen 2017, p. 56).

Pero esta no es la única deficiencia que presenta esta propuesta. La teoría en cuestión no solo no da cuenta de los objetivos primarios de la representación, sino que ni siquiera esgrime una posible respuesta a la pregunta en torno a cómo es que dichos objetivos son alcanzados mediante el acto representacional, es decir, falla en explicar cómo se produce el proceso mediante el cual el acto representativo permite generar lo se conoce como razonamientos subrogantes (cfr. Contessa 2007a, 2011; Toon 2010 y Nguyen 2016), y lo que Callender y Cohen, en términos parecidos mas no idénticos, proponen como la producción de ciertos contenidos mentales. En efecto, su propuesta no solo no explica los mecanismos por los cuales los diferentes tipos de representaciones se derivan de las representaciones mentales (cfr. Toon 2010), sino que ni siquiera da cuenta del modo en que se producen las representaciones mentales. Callender y Cohen segmentan el relato en torno al problema de las representaciones en dos etapas. La primera de ellas consiste en explicar que las representaciones científicas se reducen a representaciones mentales y que, por lo tanto, hay que intercambiar (trivialmente a juicio de los autores) el problema en torno de las representaciones científicas por el problema en torno de las representaciones mentales. La segunda etapa consiste en brindar algún relato respecto de estas últimas. Sin embargo, sorprendentemente, luego afirman que esta segunda etapa, es decir, aquella que debería explicar las representaciones mentales, “equivale a un misterio metafísico bastante

profundo.” (Callender y Choen 2006, p. 73). Si esto es así, entonces, contrariamente a lo que afirman Callender y Cohen, efectivamente sí existe un problema en torno a la representación; problema que de hecho desde la perspectiva de los autores, lejos de disolverse, se multiplica. En primer lugar, al interior de su propuesta habría un problema pues entendiendo que los portadores de las representaciones mentales se constituyen como “un misterio metafísico bastante profundo” no estarían dadas las bases explicativas del fundamento mismo de todo acto representativo. En segundo lugar, su propuesta no permite diferenciar lo que en términos peircianos son signos de distinto tipo: las representaciones mediante íconos, símbolos o índices (cfr. Bueno y French 2011). Por último, existe realmente un problema con la representación científica, pues, como dijimos, su propuesta falla en brindar una explicación del modo en que se produce las inferencias a partir de las cuales ganamos conocimiento del sistema target ya que, si bien “puede que no haya representación sin usuarios, eso no significa que los usuarios determinen qué se requiere para que algo represente a otra cosa.” (Morrison 2015, p. 128)¹⁵.

Precisamente la concepción inferencialista, en el intento de desmontar la representación de la mera denotación y la arbitrariedad que tal asociación supone, asevera que el límite que dirimiría la potestad representativa de los modelos científicos sería la capacidad de establecer inferencias. En lo que sigue evaluaremos tres concepciones, dos de ellas deflacionistas –la DDI de Hughes y la concepción inferencialista de Suárez–, y una de ellas pretendidamente sustancialista –la concepción interpretativa de Contessa–.

2.4.a La concepción DDI de Hughes

La propuesta de Hughes (1989, 1997) se constituye como punto de partida de la concepción inferencialista que unos años después, a partir de los trabajos desarrollados por Suárez, cobró una impronta específica y preponderante en el contexto de las teorías sobre la representación. Al apropiarse las críticas esgrimidas por Goodman (1968) contras las teorías basadas en la semejanza, Hughes instituye a la denotación como la fuente primordial del acto representativo. Sin embargo, el énfasis en la denotación como reacción a las teorías sobre la semejanza no implica, tal como lo hacen Callender y Cohen, reducir la

¹⁵ Para un intento de solución del inconveniente que genera pensar que las representaciones mentales como un misterio metafísico profundo puede consultarse Ruyant 2021.

representación a ella. En efecto, para el autor la representación es un proceso configurado a partir de tres elementos que le dan nombre a su propuesta: DDI (denotación, demostración, interpretación). El primer elemento del acrónimo implica un acto de estipulación convencional al modo en que un nombre denota su referente. El modelo, que en esta primera instancia es meramente un símbolo, se diferencia de estos en función de los dos elementos restantes. La razón por la cual no deviene simplemente como símbolo es que sobre él adviene un segundo proceso que se produce enteramente “dentro” del modelo: la demostración. La estructura interna de los modelos habilita la confección de ciertas inferencias que en última instancia iluminan su dinámica. En efecto, mediante el proceso demostrativo el científico realiza pruebas y obtiene nuevos resultados que evidencian las potencialidades y capacidades del modelo. El último paso que completa el proceso representativo está dado por la interpretación, que básicamente “es una función que nos lleva de lo que hemos demostrado (...) de vuelta al mundo de las cosas.” (Hughes 1997, p. 333). En efecto, debido que en el proceso demostrativo las conclusiones quedan confinadas al modelo, es necesario extrapolar dichos resultados de modo tal que redunden en algún tipo de información sobre el sistema target. Precisamente esta función la cumple el proceso interpretativo cuando relaciona los respectivos elementos y propiedades del modelo y el sistema. Evidentemente, aunque así no lo haya especificado, el proceso de demostración y luego el de interpretación requieren la elucidación de algún tipo de estructura de los elementos y propiedades relacionadas. Esta primera aproximación no solo inaugura la perspectiva inferencialista sino también lo que posteriormente, a partir de las obras de Suárez, se conocerá como deflacionismo. Explícitamente, Hughes declara que la articulación de estos tres elementos no conforma ni aislada no conjuntamente condiciones necesarias y suficientes del representar (cfr. Hughes 1997). Por el contrario, la apuesta es mucho más modesta ya que simplemente asume que estas herramientas teóricas podrían arrojar luz sobre el modo en que se configuran las representaciones científicas.

A pesar de las ventajas evidentes que esta presentación supone, ya que no solo disocia la representación científica de la mera denotación, sino que, al incluirla como parte de ella, garantiza la direccionalidad y la no simetría, para muchos autores esta propuesta no resulta del todo satisfactoria. La primera crítica se instituye, aunque de un modo divergente, contra la noción misma de denotación. Recordemos que, según Hughes, la denotación funciona

como lo hace un símbolo y, subscribiendo a lo afirmado por Goodman, se constituye como “el núcleo de la representación y es independiente de la semejanza” (Goodman 1968, p. 5). Frente a esta declaración surgieron entonces dos líneas de ataque no complementarias. La primera de ellas, esgrimida por Ducheyne (2006) y Stefanov (2012), se erige contra la arbitrariedad supuesta en concebir la denotación como un mero acto estipulativo fundado simplemente en la intencionalidad del agente. En este sentido, Ducheyne asevera que, desde la concepción brindada por Hughes, o bien no se explica cómo es que se produce ese acto denotativo, o bien se explica inadecuadamente ya que se plantea que la relación entre modelo-sistema se establece arbitrariamente cuando de hecho no es así: “que los modelos hagan su trabajo no es una cuestión de estipulación, es una cuestión de acuerdo entre las consecuencias teóricas de un modelo y los datos empíricos relevantes” (Ducheyne 2006, p. 217). Por su parte, Stefanov directamente acusa a Hughes de interpretar erróneamente el caso científico a partir del cual despliega su concepción. El modelo analizado por Hughes es el modelo cinemático de los “movimientos uniformemente acelerados” desarrollado por Galileo. El modelo es un modelo geométrico conformado por líneas y segmentos, y tiene como objetivo describir y predecir la diferencia entre la distancia que recorre un cuerpo con velocidad uniforme en un tiempo dado, de la que recorre un cuerpo uniformemente acelerado pero que parte de una situación inicial en reposo. En el modelo, el tiempo es denotado mediante una línea vertical dividida por segmentos iguales, mientras que la velocidad se representa por medio de la longitud de líneas horizontales. Stefanov se pregunta si la estrategia de representar el tiempo mediante una línea con intervalos iguales es, como afirma Hughes, producto de un acto estipulativo enteramente arbitrario, o si, por el contrario, descansa en ciertos supuestos previos sobre aquello que se quiere representar; supuestos que a su vez son los que permiten establecer las inferencias pertinentes. Frente a esta disyuntiva, el autor afirma que la representación del tiempo como una línea dividida en segmentos equidistantes entre sí no es arbitraria, sino que se debe a una comprensión del tiempo como algo dimensional, lineal, homogéneo y uniforme. En parte, Stefanov, sin mencionarla, considera una preocupación que a mi juicio debilita a las concepciones inferencialistas. La tarea de la modelización científica es una tarea ardua y compleja como para que su acto fundacional pueda reducirse exclusivamente a una decisión convencional. Si bien en términos analíticos es posible pensar que cualquier cosa puede representar

cualquier cosa, no parece ser eso lo que en efecto sucede en la práctica científica. Los científicos realizan un esfuerzo denodado para dar con el modelo adecuado, y por lo general lo realizan sobre la base un marco teórico que precede y confiere ciertas intuiciones respecto del sistema a representar.

La segunda crítica contra la noción de denotación en Hughes fue desarrollada por Suárez (2010b, 2015) y Toon (2010) y tiene un cariz radicalmente diferente, ya que no se erige en contra de la arbitrariedad que el acto estipulativo supone, sino contra la imposibilidad de la denotación para dar cuenta de modelos que representan entidades no reales o ficcionales. De acuerdo con estos autores, la noción de denotación supone la noción de éxito, ya que para que la misma se constituya como tal, el objeto denotado debe existir. De ser así, la propuesta de Hughes resulta insatisfactoria y se aleja de la práctica científica porque no contempla aquellos modelos científicos, como el modelo del éter o del flogisto, que representan aun cuando las entidades representadas no existen. Según Suárez, este inconveniente podría sencillamente ser enmendado remplazando la noción de denotación por una función de denotación. La función de denotación, siendo menos restrictiva, habilitaría la posibilidad de contemplar aquellas prácticas del modelado donde se representan entidades inexistentes. Sin embargo, para Toon, ni siquiera este intento de solución propuesta por Suárez resulta satisfactorio, pues “la afirmación de que los modelos pueden denotar entidades ficticias, tal como denotan entidades reales, también estaría abierta a debate.” (Toon 2010, p. 96). Para el autor en el caso que haya una representación de una entidad inexistente, esta no puede fundarse sobre una concepción acerca de la denotación homóloga a la que pudiera pensarse respecto a la de un objeto real. En parte por este motivo, autores como Toon y Frigg abandonan la primacía de la denotación como factor distintivo de la representación y promueven una línea de investigación que incluye las representaciones de entidades existentes e inexistentes, desde una perspectiva de tipo ficcionalista, encuadrada en el marco de las representaciones del “como si” (Frigg 2010; Toon 2010; Frigg y Nguyen 2016, 2017).

Por último, la tercera crítica esgrimida contra la propuesta de Hughes provino también de Suárez (2015). Esta crítica plantea que la obra de Hughes, muy a su pesar, no es ni suficientemente inferencialista ni suficientemente deflacionista. En primer lugar, no es suficientemente inferencialista pues, según Suárez, la virtud de la concepción

inferencialista, en contraposición con las propuestas sustancialistas previamente desarrolladas, es que desvincula la noción de representación de cualquier tipo de relación entre modelo y sistema. La representación no es una relación sino que está determinada por las reglas de inferencia que pueden generarse al interior del modelo¹⁶. En efecto, en detrimento de aquellas corrientes que instituyen la relación de similitud o de algún tipo de morfismo entre modelo y sistema como garante de la representación, para Suárez la representación no es una relación de objeto a objeto sino que está estrechamente ligada con los usos inferenciales que realizan los agentes. En razón de lo antedicho, Suárez propone anular la noción de mapeo supuesta en la I del acrónimo DDI ya que “no es posible evaluar la idoneidad del mapeo de forma independiente, como si fuera simplemente observando las propiedades de origen y destino y evaluando su similitud o semejanza. Porque el aspecto crítico del «mapeo» no radica en ninguna relación entre sus propiedades, sino más bien en la regla de generación de inferencias que promulga.” (Suárez 2015, p. 45).

En segundo lugar, la propuesta DDI tampoco sería suficientemente deflacionaria. Para poder defender este punto de vista, en su artículo “Deflationary representation, inference, and practice”, Suárez diferencia tres sentidos en los que se puede ser deflacionista, para luego concluir que, dado que DDI no cumplimenta todos ellos, no es un auténtico deflacionismo. Precisamente este diagnóstico será lo que incentive a Suárez a configurar su propia propuesta deflacionista.

La tesis de Suárez en este artículo es que la propuesta DDI respeta un primer y único sentido deflacionista: el deflacionismo de inspiración ramseyana denominado como una perspectiva “sin teoría”. En analogía con las denominadas teorías redundantes de la verdad propuestas por Ramsey (1927), este primer sentido considera que la noción de representación no adiciona nada sustancial y que por lo tanto no merece un análisis o una descripción teórica profunda. Desde este punto de vista DDI cumplimentaría este primer requisito porque en efecto esta propuesta no pretende constituirse como una *teoría* sobre la representación, sino que, por el contrario, simplemente se postula como una hoja de ruta que evidencia ciertos aspectos relevantes y ciertas reglas frecuentes que se producen en este contexto.

¹⁶ Esta característica de la concepción inferencial de Suárez será evaluada críticamente, junto con la propuesta de Contessa, en la Sección 2.5 del presente capítulo.

Sin embargo, a decir de Suárez, DDI no contempla los otros dos sentidos deflacionistas. El segundo de ellos, inspirado en Wright, es denominado ‘minimalismo abstracto’; mientras que el tercero, sugerido desde la filosofía de Paul Horwich, se sustenta a partir de la teoría del uso. Este último sentido deflacionista reduce la noción de representación a su uso; y si bien en tanto que la reduce a su uso, la define completamente, lo hace de forma específica y particular a cada contexto. El minimalismo abstracto, en cambio, defiende el deflacionismo desde otro punto de vista postulando una brecha entre una caracterización abstracta y una caracterización concreta del representar. La primera solo define de forma general la noción de representación identificando ciertos rasgos superficiales de un modo parcial. El deflacionismo en este segundo sentido, radica en que la caracterización general no explica ninguno de los usos concretos de la representación. Al asumir la imposibilidad de una descripción universal para todos los dominios de aplicación, el minimalismo abstracto adopta una especie de pluralismo ya que deja abierto una multiplicidad de formas en que la representación puede concretarse en cada contexto.

Las razones por las cuales DDI no resulta deflacionista en ninguno de los dos últimos sentidos son semejantes. Al incluir la noción de denotación y la noción de mapeo, DDI se aleja de la práctica concreta de la representación en ciencia ya que no da cuenta de los modelos de entidades inexistentes. En este sentido, al excluir los modelos de entidades inexistentes e incluir condicionamientos externos al modelo, resulta demasiado restrictiva para un minimalismo abstracto que se precia de pluralista y que se configura sobre la idea de una definición abstracta que no interponga condiciones restrictivas al uso del concepto (cfr. Suárez 2015). Asimismo tampoco resulta apta para satisfacer el deflacionismo basado en el uso porque, al introducir la noción de mapeo, subrepticamente supone una relación sustantiva entre modelo y sistema dada por la relación externa que el modelo tenga con este. Sin embargo, según Suárez, la concepción inferencialista basada en el uso evita toda apelación a factores externos, pues “la «representación» no debe entenderse como una relación entre modelos representacionales, por un lado, y hechos, estados, efectos, fenómenos, etc., por el otro. Debe estar esencialmente relacionado con las características de su uso en la práctica.” (Suárez 2015, p. 45).

Muchas de estas acusaciones pueden ser relativizadas dado que en su obra Hughes explícitamente asevera que lo presentado por DDI no tiene más que un carácter

esquemático que requiere, para su cumplimentación, de factores adicionales propios de la práctica¹⁷. No obstante, independientemente de ello, lo cierto es que Suárez utiliza esta clase de argumentos para mostrar la insuficiencia del planteo instituido por Hughes y abogar por la necesidad de desarrollar una nueva concepción que, desde un punto de vista auténticamente deflacionista, pueda dar cuenta de todos estos aspectos. En la próxima sección precisamente evaluaremos los alcances de su propuesta.

2.4.b La concepción inferencial de Suárez

En función de los inconvenientes identificados en la concepción DDI, Suárez (2003, 2004, 2010b, 2015) se propone desarrollar una propuesta auténticamente deflacionista que cumpla con los tres sentidos previamente mencionados (Suárez y Solé 2006; Suárez 2015). Para tal fin, una de las principales líneas de investigación de inspiración hugheana que refuerza Suárez (y que terminará instituyendo una tradición luego continuada por autores como Contessa) es la entender la representación como una práctica inferencial que se produce a partir de reglas de inferencia íntegra y exclusivamente desarrolladas al interior del modelo. Desde esta perspectiva, la representación no sería una relación objeto-objeto, sino una relación entre un objeto, el modelo, y los estados inferenciales posibles desarrollados por el usuario. En este sentido, el autor afirma que “para que cualquier representación posea poder de inferencia hacia algún objetivo, se requiere que haya algunas reglas de inferencia que conecten la fuente y el objetivo, pero tenga en cuenta que, en una cuenta deflacionaria, la representación no está constituida por esas conexiones en sí mismas, sino por las reglas que proporcionan a la fuente la capacidad de generar las inferencias” (Suárez 2015, pp. 45-46).

Teniendo esto en mente es que Suárez (2003) presenta ciertas condiciones necesarias, mas no suficientes, del representar. *A* representa *B*, afirma, si (i) la fuerza representacional de *A* nos orienta o apunta a *B* (o sea, si la fuente *A* es capaz de guiar a un usuario

¹⁷ Explícitamente, en el último párrafo de su obra, Hughes afirma lo siguiente: “diseñada esqueléticamente, esta explicación necesitaría complementarse caso por caso para revelar, dentro de los ejemplos individuales, las estrategias de entrada de la teoría, las técnicas de demostración y las prácticas, teóricas y experimentales, que vinculan la predicción teórica con prueba experimental” (Hughes 1997, p. 335). Evidentemente, Hughes considera que su propuesta es un “esqueleto” a completarse con la práctica y el uso. En este sentido, su aspecto no deflacionista estaría solamente supeditado en que, a juzgar por las últimas palabras, instituye una relación entre representación y experimentación.

competente e informado para poner en consideración el sistema target *B*), y si (ii) *A* permite hacer inferencias científicas sobre *B*. El primer ítem rescata la función denotativa, es decir el componente intrínsecamente intencional que pone en evidencia que la representación tiene una direccionalidad que no puede ser cumplimentada simplemente observando las propiedades objetivas que pueden presentar modelo y sistema. Esta condición, que se efectiviza mediante un acto estipulativo, se diferencia del tradicional acto denotativo que fuera presentada por Hughes, pues aquí la referencia al target no supone su existencia. Esto le permite recuperar uno de los sentidos deflacionista ya que su perspectiva representacionalista puede dar cuenta e incluir los modelos de entidades inexistentes. El segundo ítem, también con fuertes consideraciones pragmáticas, permite identificar la segunda característica que complementa, aunque no necesariamente completa, el proceso representativo: la capacidad de realizar inferencias desde la fuente (el modelo) al sistema. Esta segunda característica es la que permite diferenciar las representaciones arbitrarias que, como los nombres propios, no permiten generar información alguna que exceda el acto mismo de la referencia, de las representaciones cognitivas (Suárez y Solé 2006) o epistémicas (Contessa 2007a), que se caracterizan en parte por la informatividad que generan respecto del sistema target. Precisamente la informatividad y el valor cognoscitivo que habilitan los respectivos modelos respecto de los target es lo que garantizaría la pretendida objetividad que diferenciarían las representaciones científicas respecto de otras representaciones no científicas (cfr. Suárez 2004).

Según el autor esta perspectiva sería deflacionista en el primer sentido, ya que no provee teoría alguna sobre la representación, es decir, no provee condiciones suficientes y necesarias sino ciertos rasgos superficiales necesarios del representar. A su vez, también cumplimentan las condiciones deflacionistas estipuladas por el minimalismo abstracto, dado que la fuerza representacional y la capacidad inferencial constituyen una caracterización abstracta del acto del representar que por sí misma no explica ningún uso particular o concreto del concepto en la práctica. En efecto, las condiciones (i) y (ii), configuradas como los constituyentes del representar, brindan un esquema general que, precisamente por no especificar condiciones específicas de aplicación, habilitan una multiplicidad de usos del concepto. Esta multiplicidad de usos posibles en que el concepto se podría manifestar está supeditada a los diferentes medios a partir de los cuales es posible

aplicar la noción de representación mediante una particular relación entre modelos y sistema: similitud, isomorfismo, isomorfismo parcial, instanciación, ejemplificación, etc. Estos medios son los adicionales necesarios que estipulan las condiciones de usos específicas que en cada contexto particular emplea el usuario para efectivizar el proceso inferencial. De este modo, en un solo movimiento, a decir de Suárez, se satisfacen el minimalismo abstracto y el deflacionismo basado en el uso, ya que se combina una caracterización general con un pluralismo de usos posibles del concepto basado en las prácticas específicas en cada contexto de aplicación. A lo fines de plasmar conceptualmente tales definiciones, Suárez y Solé (2006) amplían el concepto y estipulan una concepción inferencialista pluralista donde A representa B si se cumplen (i), (ii) y (iii) x (donde x es cualquier medio que permite la relación entre A y B dada en cada práctica representacional específica). Este programa, lejos de captar un único concepto, habilita una pluralidad de conceptos sobre la representación, ya que precisamente deja abierta la posibilidad de nuevas condiciones que completen el proceso introduciendo condiciones necesarias o incluso también condiciones suficientes (ver Suárez y Solé 2006). Sin embargo, para el autor esto no implica cerrar la definición ni brindar una explicación sustantiva del representar: “es imposible determinar a causa de la definición abstracta del concepto cuáles serían sus condiciones de aplicación en cualquier contexto, ya que las condiciones de aplicación están, por esta razón, subdeterminadas por sus constituyentes” (Suárez 2015, pp. 46-47).

De acuerdo con Suárez, su propuesta presenta una serie de ventajas. Presumiblemente permite responder afirmativa o negativamente la pregunta respecto de si A representa o no a B ; deflaciona la noción de denotación y con ello abarca a las representaciones ficcionales; y distingue casos representativos de aquellos que no lo son dependiendo de si cumplen o no con (i) y (ii).

Sin embargo, el entusiasmo de Suárez no es unánimemente compartido ya que no resulta del todo claro que en efecto su propuesta tenga estas ventajas, ni tampoco que la misma pueda dar cuenta de los aspectos fundamentales que demanda una teoría sobre la representación. Chakravartty (2010a), al igual que Bueno y French (2011), cuestionan la capacidad explicativa de esta concepción advirtiendo que, de radicar la representación en las condiciones (i) y (ii), entonces la capacidad inferencial y el vínculo entre modelo y

sistema quedaría supeditada a un milagro: “¿Por qué, entonces, no considerar la similitud como una característica necesaria de la representación científica? (...). Uno podría preguntarse cómo podrían facilitarse con éxito tales prácticas; si no fuera por algún tipo de similitud entre la representación y la cosa que representa, ¿es un milagro?” (Chakravartty 2010a, p. 201). Análogamente Ducheyne (2006, 2012) no solo acusa a Suárez por brindar una explicación circular pues simplemente reemplaza la noción de representación por nociones vagas y no explicadas como ‘fuerza representacional’ y ‘poder inferencial’, sino que no responde las preguntas fundamentales en torno al problema sobre la representación: “¿Es realmente tal que no podemos decir más acerca de la fuerza representacional? ¿En virtud de qué propiedades los modelos tienen poder inferencial? La pregunta crucial queda sin respuesta.” (Ducheyne 2006, p. 219). Por último, con un cariz diferente, Contessa (2011) asevera que lo que resulta un misterio inexplicado no es tanto la razón por la cual se producen las inferencias, sino cómo es que los usuarios están habilitados para formular razonamientos subrogantes, es decir, por medio de qué mecanismos los usuarios logran interpretar el modelo en términos del sistema. Precisamente, como veremos posteriormente, la concepción interpretativa de Contessa pretenderá solventar, entre otras cosas, este déficit teórico.

Frente a estas acusaciones Suárez podría adoptar dos estrategias. La primera de ellas sería asimilar el golpe transformando la debilidad en fortaleza. Para ello debería, sin embargo, aceptar el misterio como un rasgo necesario de su deflacionismo, es decir, aceptar que su deflacionismo implica la imposibilidad de explicar o considerar la razón por la cual se obtiene tal fuerza representacional y tal capacidad inferencial. El inconveniente de esta estrategia, soslayando la decepción que tal aceptación puede generar, es que los tres conceptos fundamentales, a saber: ‘representación’, ‘fuerza representacional’ y ‘poder inferencial’ se vuelven una suerte de términos primitivos. Una segunda estrategia, sugerida por Gelfert cuando afirma que Contessa se mueve demasiado rápido con su crítica, es aseverar que tales acusaciones resultan infundadas debido a que la modificación pluralista de la concepción inferencial, al incluir la condición (iii), da cuenta del presunto misterio: “Suárez es muy consciente del hecho de que los vehículos de representación, en virtud de los diferentes formatos y medios que emplean, tienen diferentes efectos de restricción y habilitación sobre sus usuarios” (Gelfert 2016, p. 38). En efecto, en “Scientific

representation” (2010b) Suárez explícitamente reconoce que una condición implícita necesaria sin la cual no podrían ser posibles los razonamientos subrogantes es que la fuente tenga alguna estructura interna que precisamente habilite el proceso inferencial. Si bien esta segunda estrategia parece más prometedora, su dificultad estriba en los fuertes resabios sustancialistas que tal respuesta parece sugerir. En primer lugar, los límites entre la concepción inferencialista y la concepción estructuralista se vuelven borrosos, ya que ahora parecería que los razonamientos subrogantes se transforman en un síntoma de la existencia de alguna relación estructural. En segundo lugar, porque a fin de cuentas la perspectiva pluralista, aun cuando no es monista, no deja de ser una propuesta universal dado que en (i), (ii) y (iii) están dadas las características distintivas del representar. Por último porque, aun aceptando la distinción entre la caracterización abstracta y concreta que Suárez presenta, en lo que concierne a esta última, para cada caso concreto de análisis se estaría brindando, en cada contexto, una explicación completa del acto representacional¹⁸.

Evidentemente, parte, si no es que todos los inconvenientes recién mencionados son consecuencia de la obsesión por instituir una concepción deflacionista de la representación. Quizás por estos motivos, Contessa intentará solventar estas dificultades proveyendo una perspectiva inferencialista y sustancialista de la representación.

2.4.c La concepción interpretativa de Contessa

Contessa (2006, 2007a, 2007b, 2011) continúa la tradición inferencial inaugurada por Hughes y Suárez, pero reniega de su perspectiva deflacionista e intenta brindar condiciones necesarias y suficientes del representar. Asimismo, considera que un buen criterio es aquel que especifique aquello que en Suárez continuaba como un misterio inexplicado, a saber: cómo es que los usuarios están habilitados para formular razonamientos subrogantes (de aquí en adelante, RS). Para saldar esta cuestión Contessa desarrolla su concepción interpretativa, donde presenta los RS válidos como síntomas de la representación epistémica y apela a las nociones de interpretación y denotación para explicar el proceso por el cual se produce el acto de la representación. Para el autor, un modelo es una representación epistémica de cierto sistema si y solo si: (i) el usuario elige

¹⁸ En el Capítulo 4, cuando se explique por qué esta concepción no resulta satisfactoria para dar cuenta de los modelos incompatibles, se retomarán y ampliarán las críticas aquí esbozadas.

un vehículo para representar el sistema (denotación) y (ii) el usuario adopta una interpretación del modelo en términos del sistema.

Los puntos (i) y (ii) no son independientes, sino que el primero es subsidiario del segundo: para interpretar, en primer lugar es necesario identificar los objetos, las propiedades y las relaciones relevantes del modelo y del sistema. A su vez, es el proceso interpretativo el que habilita la producción de RS válidos; es decir, en virtud de la interpretación adoptada, el modelo permite desarrollar las inferencias correspondientes respecto del sistema. La noción de validez en el contexto de los RS válidos no está asociada con la noción de deducción. Lo que convierte un RS en válido son las reglas que se imponen en el proceso de interpretación. Más precisamente, este tipo de razonamientos se constituyen cuando se producen mediante aquellas inferencias que están legitimadas a realizarse en función de un conjunto de reglas que el mismo proceso interpretativo habilita. Esto resulta evidente si uno considera que un RS involucra dos objetos distintos: un modelo científico que es referenciado en las premisas y un sistema target referenciado en la conclusión. Consecuentemente, a menos que en las premisas haya alguna proposición acerca del sistema, el RS no podrá nunca ser válido en términos lógico-formales. Del mismo modo tampoco habría que entender la noción de solidez desde parámetros lógico-formales. En una nota al pie Contessa (2007a) afirma que ‘sólido’ no refiere a la noción de solidez inferencial entendida como un razonamiento válido con premisas verdaderas. El autor también acuña un nuevo sentido técnico según el cual la noción de solidez se limita a identificar aquellos RS que tienen conclusión verdadera independientemente del valor de verdad de las premisas. La noción de RS válido, si bien no excluye ningún proceso inferencial específico (ya que es compatible con inferencias deductivas □ para el caso en que las premisas contengan alguna información del sistema □ o con inferencias no monotónicas), no se define ni se compromete con ninguna de ellas. En definitiva, es la noción de interpretación (también en el sentido técnico que el autor introduce) la que entraña la potestad para distinguir entre inferencias válidas e inválidas (Contessa 2007a). En este sentido, los RS se constituyen como un síntoma del proceso interpretativo; siendo este proceso subyacente a los RS, los cuales se constituirían como condición necesaria y suficiente del representar.

El objetivo de Contessa, siguiendo con la tradición inferencialista, es asociar la noción de representación epistémica con la noción de RS válido e independizar radicalmente verdad de representación. La verdad (provisoria, probable, rectificable o aproximada) de la conclusión no juega ningún papel: no define la noción de RS válido ni la noción de representación epistémica. En todo caso, para el autor la verdad de la conclusión responde a la pregunta normativa y servirá para delimitar entre una buena y una mala representación, mas no para delimitar una representación epistémica *simpliciter*. En efecto, el criterio estipulado para la representación no son los RS sólidos (de los cuales se extraen conclusiones verdaderas), sino los RS válidos. Por ello Contessa afirma: “si un usuario puede realizar inferencias (válidas) desde un determinado vehículo hacia un determinado sistema target, el vehículo es una representación epistémica de ese sistema para ese usuario, independientemente de si las conclusiones sobre el sistema target son verdaderas o no” (Contessa 2007a, pp. 25-26). En este mismo sentido afirma que “la concepción interpretativa pretende ser un relato de lo que hace que un vehículo sea una representación epistémica de un determinado sistema, y no de lo que lo convierte en una representación epistémica fiel” (Contessa 2011, p. 127).

En parte el objetivo de independizar verdad y representación es distinguir la pregunta en virtud de qué un modelo representa, de la pregunta en virtud de qué el modelo representa fielmente. Para el autor ambas preguntas deben responderse mediante criterios diferentes: la primera, mediante RS válidos; la segunda, en función del número de RS sólidos. De este modo Contessa, luego de establecer los RS válidos como criterio necesario y suficiente de representatividad, establece una distinción entre representación epistémica totalmente fiel, parcialmente fiel y completamente infiel en función de contener, respectivamente, todas, alguna o ninguna conclusión verdadera¹⁹.

¹⁹ Estrictamente hablando, los modelos no son ni verdaderos ni falsos ya que no son entidades lingüísticas. En este contexto verdadero o falso se aplica a los enunciados (particularmente la conclusión) de los RS que se producen cuando se interpreta el modelo en términos del sistema. No realizaremos aquí un análisis de la noción de verdad involucrada en la noción de solidez. Como veremos, la conclusión de un RS sólido será verdadera cuando lo que se afirma se corresponde, aunque sea aproximadamente, con el sistema. Si bien esta caracterización merece un desarrollo crítico, dado que en las obras de Contessa la noción de verdad que define a las representaciones fieles no es problematizada, es suficiente, por el momento, esta caracterización para los objetivos de este capítulo.

2.5 Representaciones epistémicas: ¿RS válidos o sólidos?

En las siguientes secciones evaluaremos algunos inconvenientes que surgen de la propuesta de Contessa pero que, en espíritu, le pertenecen a todas aquellas propuestas inferencialistas que pretenden distinguir entre la pregunta por la representación y la pregunta por la representación adecuada, y pretenden, también, instituir la representación como un proceso inferencial que no esté vinculado con una relación de tipo objeto-objeto. Se afirmará, en este sentido, que parte del equívoco reside en creer que las dos preguntas recientemente planteadas deben responderse con criterios diferentes. El objetivo de esta sección es poner de manifiesto las debilidades de los argumentos de Contessa para instaurar, como fuente del representar, los razonamientos subrogantes válidos por sobre los sólidos. Pero su alcance pretende ser mayor. Puesto que Contessa es uno de los pocos que se toma el trabajo de justificar esta disociación, y que los argumentos que presenta, aunque de un modo rudimentario, están subrepticamente mencionados aunque no desarrollados en muchas de las obras de Suárez (2010b, 2015), se considerará que aquí no es está simplemente criticando una propuesta particular, sino algo que es parte del núcleo duro de muchas de las concepciones inferencialistas sobre la representación actualmente vigentes.

Con este propósito, en primer lugar, se analizarán ciertas ventajas epistémicas del criterio sustentado sobre los RS sólidos, evidenciando, consecuentemente, los límites del criterio estipulado por Contessa. En segundo lugar, se mostrará que los argumentos utilizados por Contessa para descartar el criterio instituido en los RS sólidos son deficientes, ya que, en el mejor de los casos, no demuestran nada y, en el peor de los casos, o bien se comete una falacia por ambigüedad o bien se comete una petición de principio. Como dijimos, el alcance de esta sección, si bien se focaliza en Contessa, no se reduce a él. En efecto, afectaría a todas aquellas propuestas que consideran que la representación radica en la mera posibilidad de establecer inferencias a partir del modelo de forma independiente de los resultados que tales inferencias arrojen. Este es un primer paso necesario para poder desarrollar, en los Capítulos 3 y 4, una crítica más profunda en torno a la teoría de la representación instituida a partir de los modelos incompatibles.

2.5.a Ventajas y desventajas epistémicas de sendos criterios

Si bien Contessa comienza su análisis advirtiéndole que la polisemia del término ‘representación’²⁰ genera una confusión conceptual que debe ser salvada, su advertencia, según mi parecer, no conduce a una clarificación ni del problema ni del concepto. En efecto, su criterio es tan amplio y tan poco restrictivo que incluye dentro del concepto ‘representación epistémica’ procesos que, en principio, uno podría desear excluir.

Una de las primeras críticas en ese sentido es la que realiza Bolinska (2013) al afirmar que el criterio basado en los RS válidos no permite diferenciar representación de estipulación. Según Bolinska, al supeditar el proceso interpretativo a la voluntad de un agente que estipula los elementos y relaciones del modelo en términos de los elementos y relaciones del sistema, Contessa permite demasiado, ya que habilita que cualquier cosa pueda constituirse como elemento representativo de cualquier otra cosa. En segundo lugar, otro de los inconvenientes de la propuesta de Contessa es que incluiría como procesos representacionales casos que intuitivamente muchos preferirían excluir. Considérese que desde tal perspectiva no habría posibilidad de diferenciar entre un proceso inferencial que supone representación de uno proceso inferencial que no la supone, es decir, entre un modelo de corte netamente instrumental y un modelo representativo. ¿Son todos los modelos, independientemente de su tipo, necesariamente representativos? Asumir una

²⁰ Contessa advierte que la noción de representación puede usarse como mera denotación, al modo en que un logo puede representar una marca, como representación epistémica y como representación epistémica fiel. Dado que en este trabajo los dos últimos sentidos son los relevantes, en lo que sigue donde dice ‘representación’ debe interpretarse ‘representación epistémica’. Por otro lado, puede pensarse que el target de este capítulo resulta equívoco pues no diferencia entre representación epistémica y representación científica. Una crítica posible sería afirmar que los autores sostienen que los RS válidos dan cuenta de las primeras mas no de las segundas. Y que precisamente es solo el segundo tipo el que se define mediante los RS sólidos. Si esto fuera así, mi argumentación sería fallida porque su denotado sería errado; es decir, no estaría discutiendo contra nadie. Pero por supuesto que esto no es así. En primer lugar, cuando Suárez define su concepción inferencial, explícitamente sostiene que está definiendo la representación científica (cfr Suárez 2004). En segundo lugar, Suárez se inscribe en la tradición que considera que la pregunta por la representación debe distinguirse de la pregunta por la representación adecuada. Si él pensara que solo la última es una representación científica, entonces toda su teoría sobre la representación no sería una teoría sobre la representación científica. En tercer lugar, Suárez usa reiteradamente ejemplos de obras de arte, que serían meramente representaciones epistémicas, para criticar o echar luz sobre las representaciones científicas. Si en su concepción fueran representaciones diferentes, entonces sus ejemplos serían inútiles. Y, por último, porque Contessa explícitamente, no solo piensa que Suárez está definiendo las representaciones científicas y no meramente las epistémicas, sino que él mismo suscribe que cuando define las representaciones epistémicas está definiendo las representaciones científicas (cfr. Contessa 2007a).

respuesta afirmativa obtura, por un lado, la perspectiva que considera a los modelos como artefactos epistémicos no representativos (cfr. Knuuttila 2005b, Knuuttila y Boon2011), y, obtura también, aquellas perspectivas para quienes es admisible asumir que los modelos incompatibles adquieren un carácter puramente instrumental (cfr. Morrison 2011). Pero por otro lado, produce una confusión (que provoca precisamente la incapacidad mentada para diferenciar entre diferentes tipos de modelos) entre aquellos rasgos que son constitutivos de los modelos *representativos* y aquellos rasgos que son, simplemente, constitutivos de los modelos *per se*.

Pero, seamos justos y desensillemos por un momento. Podría afirmarse que no es cierto que toda teoría está obligada a caracterizar de un modo independiente las nociones de modelo y de representación puesto que, como afirma Suárez en su afán por diferenciar teoría científica de modelo científico, “un modelo es una representación, ya que está esencialmente destinado a algún fenómeno; su uso previsto no es una relación externa que podamos elegir agregar al modelo, sino una parte esencial del modelo en sí” (Suárez 1999b, p. 79). Es decir, de ser así, no sería posible diferenciar modelo de modelo representativo, ya que la noción de representación sería esencial, consustancial de la noción de modelo.

Ahora bien, aun cuando esto sea legítimo, no resulta conveniente. En lo que sigue se intentará poner de manifiesto que tal posición presenta una serie de desventajas epistémicas respecto de lo que se espera de una teoría sobre la representación. Por un lado, es deseable que se intente brindar una caracterización de representación lo más amplia y abarcadora posible, de modo tal de incluir, o por lo menos no excluir, las diferentes perspectivas existentes sobre el proceso de modelización. A su vez, también es deseable que pueda brindarse una caracterización independiente para que el término ‘representación’ signifique algo más, o por lo menos distinto, que el término ‘modelo’. Es decir, considerar la representación como el carácter esencial del modelo, ¿supone que el término ‘representación’ es redundante en la expresión ‘modelo representativo’? ¿Es realmente lo mismo afirmar ‘X es un modelo’ que ‘X es un modelo representativo’? Como afirma Chakravartty, “si toda representación científica meramente intencionada es representación genuina, entonces el término «representación científica» no connota nada distintivo, ya que «representación del éter» parecería significar nada más ni menos que «modelo del éter». Sin embargo, se podría sostener de manera plausible que el término «representación

científica» debería connotar algo más que el mero reconocimiento de que algo es un modelo.” (Chakravartty 2010a, pp. 210-211). Pero, además, como afirma Poznic, “no es una cuestión terminológica arbitraria declarar que las representaciones no deben equipararse a los modelos” (Poznic 2018, p. 3428), porque en tanto que un mismo modelo puede representar dos sistemas diferentes, parece más apropiado caracterizarlos en términos categorialmente diferentes: el modelo como un relato de, posibles, diferentes relaciones representacionales.

Pero quizás la mayor desventaja epistémica que acarrea anclar la representación en los RS válidos e independizarla de la verdad es que trivializa la noción de representación. Si recordamos, tal como sugiero en la Introducción, que la perspectiva representacionista pretende dar cuenta del modo en que se produce conocimiento mediante los modelos, entonces, dado que habría representación aun cuando no aprendiéramos absolutamente nada del sistema (el modelo llevaría a desaciertos constantes), la representación se constituiría como fuente que garantizaría en los mismos términos y por las mismas razones el conocimiento y el desconocimiento del sistema. Para evitar una consecuencia tan desafortunada, quizás haya que reconocer que la pretendida distinción entre representación *simpliciter* y representación adecuada que Contessa (y Suárez) sugiere, genera más problemas de los que soluciona; y reconocer también, como sugiere Poznic (2018), que el predicado ‘representación’ supone una evaluación respecto de las potencialidades y funcionalidades del modelo: “Al representar, los usuarios del modelo intentan aprender acerca del sistema. (...) Uno solo puede aprender del uso del modelo sobre el sistema si existe una relación de ajuste entre ambos. (...) Por lo tanto, solo si el usuario del modelo evalúa positivamente el ajuste, es razonable que tome el modelo como una herramienta epistémica para aprender sobre el sistema, es decir, como representante del sistema” (Poznic 2018, p. 3431).

Sobre la base de estas consideraciones parece más oportuno, y filosóficamente menos problemático, afirmar que la capacidad inferencial, esto es, la capacidad de establecer RS válidos, es un rasgo de los modelos: es la razón por la cual los científicos seleccionan, entre las múltiples opciones disponibles, ciertos elementos por sobre otros a la hora de diseñar los modelos científicos. En este sentido, un modelo es aquel que permite establecer inferencias que puedan dar alguna información sobre el sistema. Parafraseando ejemplos

que el propio Contessa sugiere, y solo con fines aclaratorios, propongo pensar del siguiente modo: el hecho de que una línea trazada en un mapa entre dos puntos motive a pensar que ambas estaciones están unidas por una red ferroviaria, implica que ese mapa, producto de que a partir de él pueden realizarse RS válidos, es un modelo posible del sistema de trenes de la ciudad de Buenos Aires. Pero en relación con este aspecto particular, para que el mapa sea un modelo representativo, al menos alguna de las inferencias relevantes establecidas debe ser sólida²¹.

Las ventajas epistémicas del criterio son múltiples. En primer lugar, responde una de las preocupaciones de Contessa ya que permite distinguir entre una buena y una mala representación. En efecto, desde este marco de referencia una buena representación será aquella que permita afirmar la mayor y las más relevantes (en función del interés pragmático de los científicos) conclusiones verdaderas sobre el sistema. Por el contrario, una mala representación o una representación fallida será aquella que brinde una menor cantidad y/o calidad de inferencias sólidas. En segundo lugar, esta perspectiva diferencia entre modelo, representación y proceso inferencial no representativo: si ninguno de los RS válidos es sólido, entonces el modelo no es representativo. Por último, brinda un criterio que permite pensar la objetividad e intersubjetividad de la representación científica, ya que, como afirma Ducheyne (2008), exigir adecuación empírica libera los modelos representativos de la pura arbitrariedad del agente²². ¿Supone esto reconducir la noción de

²¹ La noción de verdad que supone la solidez se entiende en los mismos términos que Contessa (2007a, p. 34): verdad aproximada, y por supuesto, rectificable. Es importante aclarar que comprometerse con el hecho de que la noción de representación supone la noción de verdad no es comprometerse con la idea de que la potestad cognoscitiva de todos los modelos radica en analizarlos en relación con las creencias verdaderas o falsas que generen. En este sentido no excluyo, sino por el contrario pretendo en futuras investigaciones incluir, propuestas como la de Winsberg (2006) donde, analizando modelos computacionales, afirma que la actitud epistémica respecto de estos modelos debe entenderse al modo de una “confiabilidad sin verdad”. Dado que la tesis de Winsberg no se compromete con el hecho de que los modelos que generan “confiabilidad sin verdad” sean representativos, su postura no contradice (aun cuando tampoco implica) la que se sostiene en el presente trabajo.

²² Este criterio requiere de ulteriores clarificaciones para cumplir con todos los requisitos que aquí planteo como problemáticos. Si bien, tal como está presentado, el criterio puede dar cuenta de la diferencia entre modelo y representación, diferenciar un proceso inferencial que no implique representación alguna y diferenciar entre una buena y una mala representación no pueden ni circunscribir los modelos incompatibles como no representativos (ambos bajo este criterio tendrían RS sólidos) ni diferenciar un modelo instrumental de uno representativo. No es objeto de esta sección precisar este criterio para dar cuenta de ello. Este tema será retomado con tales fines en el

la representación hacia posturas sustancialistas que anulan el carácter pragmático de la representación? En absoluto. La adecuación empírica depende, de un modo no redundante, de la adecuación empírica. Qué aspectos serán los que se consideren relevantes a ser evaluados como empíricamente adecuados es lo que depende de los propósitos de la investigación.

Por supuesto que Contessa podría negar (y creo que lo haría) la distinción planteada entre modelos instrumentales y modelos representacionales, y rechazar por infecunda toda la tradición no representacionalista; podría incluso sostener que representar no es conocer o que hay conocimiento de lo falso y anular el argumento que termina por trivializar la representación. Podría, en efecto, sumarse a toda una tradición que afirma que la representación es esencial a todo modelo y negarse a brindar una caracterización independiente de sendos términos. No es objeto de esta sección entrar en una confrontación entre opiniones cruzadas sino analizar ventajas epistémicas y argumentos. Hasta aquí solo hemos expuesto las consecuencias de ciertas intuiciones y hemos analizado ciertas ventajas relativas con las cuales, si bien Contessa no tiene por qué comprometerse, permiten abordar el problema en torno a los modelos y la representación desde una perspectiva más inclusiva. Inclusiva, como dijimos, respecto de ciertas tradiciones de investigación en torno al proceso de modelización; inclusiva respecto de ciertas intuiciones en cuanto a que el término ‘representativo’, en la expresión ‘modelo representativo’, no es redundante; e inclusiva también porque no trivializa la noción de representación, recuperando y

Capítulo 4. Aquí simplemente me propongo anular las razones y los temores por los cuales Contessa piensa que un proceso inferencial con todas sus conclusiones falsas es igualmente representativo, evidenciar algunos problemas y proponer un nuevo criterio que, atendiendo a dichas razones y temores, pueda superar algunos de los inconvenientes. Sin embargo queda pendiente una tarea que todo aquel que pretenda justificar la noción de representación sobre la base de RS sólidos debe emprender. Que el modelo sea exitoso (es decir, que los RS tengan conclusiones verdaderas sobre el sistema) ¿significa que el modelo es empíricamente adecuado, que establece una descripción correcta del sistema, que se constituye como una explicación posible del comportamiento del sistema en función del marco teórico de referencia o que establece una predicción certera? Ducheyne (2008), para no comprometerse con posiciones realistas ni instrumentalistas, propone sustituir la noción de verdad en el contexto de los RS sólidos por la noción de adecuación empírica. Si bien creo que para los objetivos de la presente sección podría haber adoptado su terminología (no lo hice para atenerme a las definiciones dadas por Contessa), afirmaré que para diferenciar entre modelos instrumentales y modelos representacionales debería efectuarse una ulterior elucidación en términos de solidez comprensiva o solidez predictiva en relación al tipo de conclusión que se extrae de los RS. Consecuentemente, una pregunta necesaria que abordaremos en el Capítulo 4 será determinar si cualquiera de estos tipos de solidez se constituye como garante de la representación o si se requiere específicamente alguno de ellos.

respondiendo desde una perspectiva representacionalista la preocupación inicialmente planteada en la Introducción en torno a cómo es que los modelos generan conocimiento. Para expresarlo de otro modo, evidenciando las diferentes virtudes epistémicas y estableciendo un punto de vista equidistante, los diferentes criterios nos presentan la siguiente disyunción: o negamos que los RS válidos sean suficientes y anulamos una posible distinción entre representación *simpliciter* y mala o buena representación, o aceptamos que los RS válidos son suficientes y, como dijimos, no solo negamos la asociación entre conocimiento y representación sino que también negamos la distinción entre inferencia y representación, entre modelo y representación, y entre modelo instrumental y modelo representativo.

Como el alcance de esta sección no se reduce a mostrar tales discrepancias, en las secciones siguientes nos abocaremos a argumentar que los temores por los cuales Contessa cimienta la representación sobre los RS válidos no son ni atendibles ni acertados. ¿Alcanza esto para desarticular la propuesta de Contessa en favor de nuestro punto de vista? Si uno considera que el autor monta la suficiencia de los RS válidos sobre la base de desacreditar los RS sólidos como un criterio viable, diría que sí. En efecto, cuando el autor se pregunta “¿sobre qué bases se puede negar que el razonamiento sustitutivo es suficiente para la representación?” (Contessa 2007b, p. 63), responde que “una primera sugerencia posible es que es insuficiente porque en el caso anterior todas las conclusiones del modelo sobre el sistema son falsas. Si este fuera el caso, entonces un modelo sería una representación epistémica de un sistema solo si fuera una representación epistémica parcialmente fiel del mismo” (Contessa 2007b, p. 63). Y luego de presentar una serie de argumentos, afirma: “dado que no parece haber razón para suponer que el razonamiento sustitutivo no es suficiente para la representación epistémica, creo que podemos concluir por el momento que lo es” (Contessa 2007b, p. 65). Precisamente lo que haremos a continuación es analizar tales argumentos y poner de manifiesto sus limitaciones. Creemos que, al desarticular los argumentos ofrecidos por Contessa en contra del criterio sustentado sobre los RS sólidos, estaremos demostrando, parafraseando a Contessa, que dado que no parece haber razón para suponer que el RS sólido no es necesario para la representación epistémica, creo que podemos concluir por el momento que lo es; o, si se prefiere, dado que sus argumentos no son suficientemente buenos, hay razones para suponer que el RS válido no es suficiente

para la representación epistémica. Es decir, si Contessa tuviera buenas razones para desacreditar el criterio basado en los RS sólidos, entonces no sería oportuno adoptar tal criterio y la propuesta de Contessa ganaría fuerza. En parte en lo que resta de la sección veremos que las razones por las cuales Contessa disocia verdad de representación a partir de las representaciones completamente infieles (de aquí en adelante, RCI) no son pertinentes. Muy por el contrario, precisamente tal situación es la principal responsable de un sinnúmero de equívocos conceptuales y argumentativos.

2.5.b Los argumentos contra el criterio instituido a partir de los RS sólidos

Es evidente que una de las motivaciones específicas de Contessa a la hora de proponer como criterio los RS válidos y de caracterizar un modelo como representativo aun cuando todos sus RS tengan conclusión falsa es disociar representación de verdad. Pero la pregunta es ¿por qué hacerlo? Podría pensarse que los fines de tal estrategia son razonables en tanto que intenta poner en evidencia un hecho indubitable: toda representación supone tergiversaciones que distorsionan el sistema de estudio; toda representación es parcial, e incluso, a veces, defectuosa. ¿Pero se requiere para dar cuenta de ello deslindar completamente la noción de representación de la noción de verdad? ¿Es realmente necesario para tales fines responder mediante diferentes criterios la pregunta acerca de qué es una representación respecto de la pregunta acerca de qué es una buena representación? ¿Acaso el criterio estipulado sobre la base de los RS sólidos no puede dar cuenta, mediante una diferencia de grado, entre una buena y una mala representación?; ¿y no es esto suficiente siendo que este criterio también nos permite diferenciar lo que es y lo que no es una representación?

Recordemos que, en su afán por disociar verdad y representación, Contessa propone los RS válidos como criterio clasificatorio, y una de las consecuencias de ello es tener que aceptar como representativos a los denominados RCI. En este sentido cabe preguntarse ¿qué tipo de representación es aquella donde todas las conclusiones de los RS válidos que habilita el modelo son falsas? Supongamos la siguiente situación. Alguien viaja a Europa y un amigo le entrega un mapa de Praga. Cuando llega a la ciudad el viajero comienza a transitarla guiándose por el mapa. Sin embargo, pasadas unas horas, se da cuenta de que todas sus inferencias, es decir, todas las trayectorias y los destinos que establece a partir del

mapa, son inadecuadas. Incluso si el mapa dijera ‘Praga’, la reacción natural sería sospechar que, en el mejor de los casos (si es que lo hace, pues ni siquiera eso podríamos asegurar), el mapa representa alguna otra ciudad. Sea como fuera, sin duda dejaríamos de usarlo²³. ¿Se hace esto porque no es representativo o porque, aunque representativo, es completamente ineficaz? Ambas opciones son posibles; sin embargo, a mi juicio, la segunda opción no solo supone, como vimos, ciertas restricciones y consecuencias epistémicas innecesarias, sino que, como veremos, tampoco estaría sustentada sobre la base de buenos argumentos.

2.5.b.1 La noción de *misrepresentación*

La motivación principal para incluir en la noción de representación la representación no exitosa sería poder dar cuenta de las *misrepresentaciones*. En efecto, como afirma Bolinska, el enfoque de Contessa “tiene al menos una ventaja clave: hace que el concepto de representación epistémica sea aplicable no solo a instancias de representación veraz o precisa, sino también a las tergiversaciones (*misrepresentation*). Un modelo que no representa su sistema con precisión no debería por lo tanto dejar de representar este sistema. La tergiversación (*misrepresentation*) es una especie de representación” (Bolinska 2013, p. 222). Por su parte, Contessa afirma que “un vehículo debe representar un determinado sistema para *misrepresentarlo*, o, en una terminología menos confusa, un

²³ El ejemplo en cuestión es solo un intento de evidenciar qué significaría un RCI. Sea que el mismo pueda darse realmente o no, es decir, que efectivamente se dé en la práctica científica o se constituya como una consecuencia analítica de la elucidación conceptual de lo que implica la representación, lo cierto es que el mapa (como caso de RCI) se mostraría absolutamente ineficaz, y naturalmente uno lo desearía. La pregunta en todo caso sería por qué se desecha. Por otro lado, la noción de RCI encierra una ambigüedad respecto del alcance de la afirmación “ninguna de las inferencias válidas es sólida”: ¿se refiere a ninguna inferencia que de hecho se haya realizado o a ninguna de las inferencias posibles? Intuyo que la definición en cuestión no se refiere al conjunto de las infinitas inferencias posibles debido a que en ningún momento el autor menciona estar refiriéndose a casos ideales y porque presenta el modelo de Thomson como ejemplo de una RCI. A su vez, un dato que aboga en favor de esta intuición es que, en el contexto de las representaciones epistémicas completamente fieles, el autor advierte que estas no deben ser pensadas como réplicas donde absolutamente todas las posibles inferencias sean sólidas (cfr. Contessa 2007a). Sea como sea, en el ejemplo en cuestión, para el caso de que alguna de las conclusiones (relevantes) sea verdadera, ya no estaríamos hablando de una RCI sino de una representación parcialmente infiel, en cuyo caso no tenemos discrepancia alguna. La discrepancia se instituye con las RCI. Contessa debe aceptar esta situación debido a que sustenta su criterio sobre la base de RS válidos. En este sentido, si se pretende evitar la desafortunada consecuencia de identificar una representación epistémica aun cuando todas las inferencias fallen, es necesario cambiar el criterio.

vehículo debe ser una representación epistémica de un determinado sistema en orden de ser una representación epistémica completamente infiel de él.” (Contessa 2007a, p. 53). Por su parte Pincock lo formula de la siguiente forma: “Queremos que algunos modelos sean falsos, es decir, que representen un sistema de manera inexacta. Pero si vinculamos el hecho de que un modelo represente algo a la existencia de isomorfismos del tipo apropiado, entonces siempre que un modelo represente, también representará verdaderamente. Entonces, ¿cuál es la diferencia entre un modelo inexacto y un modelo que no representa en absoluto? (Pincock 2005, p. 1252).

Indudablemente esta es la objeción principal contra aquellos que pretenden asociar representación con éxito. El argumento rezaría del siguiente modo: dada la ineluctabilidad de la *misrepresentación*, es decir, dado que todo modelo representa parcial e inadecuadamente algunos aspectos, entonces debemos adoptar el criterio sustentado en los RS válidos, disociar representación de éxito²⁴ y, consecuentemente, asumir que una RCI es, de todos modos, una representación. Es decir, dado que todo modelo tergiversa e igualmente representa, entonces centrarse solamente en las representaciones adecuadas supone dar cuenta de un aspecto o de un tipo particular de representación. En esta subsección trataré de explicar que el argumento no es adecuado pues esconde, en el mejor de los casos, una falacia de ambigüedad. En la siguiente subsección veremos que, de no ser así, entonces supone una petición de principio.

Para entender el fallo argumentativo lo primero que hay que advertir es que *misrepresentación* se dice de muchas maneras. Esto se vuelve relevante pues tal multiplicidad habilita la siguiente pregunta: ¿cualquier sentido de *misrepresentación* necesariamente es una representación? Como veremos, lo que Contessa no advierte es que de “todo modelo *misrepresenta*” no se sigue que “toda *misrepresentación* es una representación”. Suárez (2003), por ejemplo, diferencia entre *misrepresentación* en términos de *mistargetting* (las llamaré *misrepresentación*₁), donde la inadecuación se produce por un error en la denotación (volveremos sobre esto más adelante), y *misrepresentación* en un sentido “más habitual”, donde esta se produce por una descripción inadecuada respecto de algún aspecto del target. Ahora bien, este último sentido admite una

²⁴ Aquí entiendo ‘éxito’ en los mismos términos de Contessa: se estipula en relación con los RS sólidos.

sub-clasificación. Precisamente esta sub-clasificación servirá para desarticular el argumento que legitima las RCI sobre la base de las *misrepresentaciones*, ya que nos permitirá elucidar el verdadero alcance de la disociación entre éxito y representación.

La inadecuación propia de una *misrepresentación* puede estar asociada o bien a las tergiversaciones intencionales que son consustanciales a todo modelo y que se producen como producto de las idealizaciones²⁵ (llamaré a estas *misrepresentación*₂), o bien a las inferencias fallidas respecto de aquellas propiedades que queremos averiguar del sistema (llamaré a estas *misrepresentación*₃). Para ilustrar esta diferencia vale el siguiente ejemplo: representar una red ferroviaria con una línea y una estación con un punto como una forma de simplificar la complejidad de todo sistema es una cosa; analizar las inferencias que se obtienen en función del modo en que una línea y un punto se relacionan es otra. Evidentemente puede suceder que exista una relación entre ambas y que la inferencia fallida se deba al tipo de distorsión realizada; sin embargo, esto no implica que sean de la misma clase. La confusión suele generarse cuando en función de las idealizaciones se realizan inferencias inadecuadas respecto del sistema (por ejemplo, si uno cree a partir del modelo del plano inclinado ideal que en efecto no hay rozamiento). Sin embargo, en principio las idealizaciones no deben ser juzgadas en función de su ajuste o no con el sistema, sino, por el contrario, en relación con el campo inferencial que habilitan respecto de aquellos otros aspectos que se quieren conocer del mismo.

Dada esta multiplicidad, cabe entonces la siguiente pregunta: ¿cuál de estos múltiples sentidos una teoría representacionalista debe, indefectiblemente, incluir? La respuesta parece clara. Dado que todo modelo es una idealización, *misrepresentación*₂ se constituye como una condición necesaria y, por lo tanto, como un requisito material para cualquier

²⁵ Como muestra de la asociación existente en algunos autores entre *misrepresentación* e idealización, pueden considerarse los siguientes extractos: “La forma más estricta de similitud estructural, el isomorfismo, es incapaz de dar cuenta de los modelos idealizados, ya que se sabe que estos *misrepresentan* ciertas características de los sistemas target” (Bolinska 2013, p. 220) o “existe una forma de *misrepresentación* que puede entenderse dentro de estructuras parciales, a saber, cuando el modelo relevante incluye idealizaciones. Esta es una forma de *misrepresentación* deliberada con fines de simplicidad, viabilidad computacional, etc.” (Bueno y French 2011, p. 890). Puede leerse también esta asociación en Frigg, “Scientific representation and the semantic view of theories” (2006, p.51); Poznic, “Representation and similarity: Suárez on necessary and sufficient conditions of scientific representation” (2016, p. 342); Poznic, “Thin versus thick accounts of scientific representation” (2018, p. 3433); Suárez, “Scientific representation: Against similarity and isomorphism” (2003, pp. 234-235); Contessa, “Scientific representation, interpretation, and surrogate reasoning” (2007b, p. 60).

teoría representacionalista. En efecto, una teoría que no la incluya será una mala teoría. Sin embargo esta exigencia no aplica ni para *misrepresentación*₁ ni para *misrepresentación*₃ (cfr. Chakravartty 2010a y Poznic 2018).

En otras palabras, la elucidación del concepto es fundamental pues pone en evidencia que Contessa confunde u omite la polisemia del término '*misrepresentación*'; y que, como consecuencia de ello, al independizar de un modo radical verdad y éxito de representación, termina asumiendo que RCI es un tipo de representación. En efecto, confundir o no diferenciar *misrepresentación*₂ y *misrepresentación*₃ es la razón por la cual Contessa cree que habría que disociar representación de éxito, ya que solo estamos obligados a tal disociación si entendemos que *misrepresentación*₂ implica ausencia de éxito. Pero una cosa es que los modelos sean parciales y que, dadas las idealizaciones, el límite de nuestras capacidades cognoscitivas o incluso el carácter mismo del acto de la modelización, representen imprecisa o inadecuadamente, y otra cosa es que por ello no sean exitosos. Muy por el contrario, las distorsiones que se producen mediante las idealizaciones son condición de posibilidad para realizar cualquier tipo de inferencia, es decir, son condición de posibilidad del éxito mismo. No es que los modelos representen a pesar de las *misrepresentaciones*₂ sino que, en parte, cuando lo hacen, lo hacen gracias a ellas. Precisamente por este motivo es que tienen que estar incluidas en toda teorización (Saatsi 2016). Al contemplar estos aspectos podríamos afirmar que el problema de la argumentación es que se asocia, con la noción de éxito, dos problemas que a mi juicio son independientes o deberían tratarse como tales: el problema de las *misrepresentaciones* o tergiversaciones consustanciales a todo modelo, que se producen como producto de las idealizaciones, y el problema de las inferencias fallidas respecto de aquellas propiedades que queremos averiguar si el sistema posee o no. Mientras que el primero es condición de posibilidad del éxito, el segundo es aquello por lo cual evaluamos el éxito o fracaso de la representación.

En conclusión, si consideramos la distinción propuesta, las razones por las cuales Contessa desacredita a los RS sólidos como criterio para la representación caen. Contessa aprovecha la ambigüedad del término para hacernos creer que, dado que *misrepresentación*₃ es, por definición una *misrepresentación*, entonces deberíamos dar cuenta de ella. Pero, como explicamos, una teoría sobre la representación solo está compelida a incluir la

segunda acepción de *misrepresentación* y el criterio sustentado sobre los RS sólidos logra hacerlo perfectamente. Como afirma Poznic, “la *misrepresentación* del modelo es una representación científica no porque sea una *misrepresentación* en un aspecto, sino porque es una representación adecuada en otro o incluso en otros aspectos” (Poznic 2018, p. 3435). Es decir, las nociones de *misrepresentación*₂ y éxito no son excluyentes, pues un modelo puede tergiversar y representar adecuadamente al mismo tiempo: precisamente por tergiversar algún aspecto es que puede representar adecuadamente otro aspecto. Y solo así la expresión “un modelo tergiversado es un modelo representativo” tiene sentido (Poznic 2018)..

Por lo tanto, no es cierto que “solo trazando la distinción entre representación epistémica y representación epistémica fiel podemos explicar por qué algo puede representar y *misrepresentar* otra cosa.” (Contessa 2007b, p. 55). Si se toma en cuenta la distinción propuesta, lo único que toda teoría representacionalista tiene necesariamente que incluir, so pena de ser una mala teoría, son las *misrepresentaciones*₂. Pero cuando evaluamos la verdad o falsedad de la conclusión de un RS sólido no evaluamos las *misrepresentaciones*₂, sino aquellas inferencias que se generan respecto de otras propiedades que sí pretendemos que sean empíricamente adecuadas. En conclusión, podríamos decir que cuando la ambigüedad terminológica se clarifica, el inconveniente planteado por Contessa como estrategia para justificar las RCI se disipa.

2.5.b.2 El sofisma Pegaso

Pero existen también otros argumentos en la obra de Contessa a partir de los cuales se intenta justificar la disociación entre verdad y representación y la afirmación de que un modelo sigue siendo representativo aun cuando todas las conclusiones que de él se obtengan sean falsas. El primero de ellos se sustenta sobre la base de lo que aquí denominaré el sofisma Pegaso. Para justificar su posición respecto de que aun las representaciones totalmente infieles son representaciones, el autor apela a la retórica del lenguaje sin atender, a mi juicio, al gran desarrollo filosófico que hay en filosofía respecto de la posibilidad de hablar con sentido de lo que no existe (Russell 1905; Quine 1953). Intentando responder a aquellos que pretenden establecer los RS sólidos por sobre los meramente válidos como criterio para la representatividad, Contessa asevera que tal criterio no solo sería demasiado estricto sino que también sería incoherente: “esto parece ser un

requisito demasiado fuerte, ya que descartaría que las representaciones epistémicas completamente infieles de un objetivo sean representaciones epistémicas de ese objetivo, lo que parece ser incoherente debido a que una representación epistémica de un determinado objetivo, sin importar cuán infiel sea, sigue siendo una representación epistémica de la misma.” (Contessa 2007a, pp. 52-53). Y esto es así porque, recordemos, según Contessa un vehículo primero tiene que ser una representación epistémica para poder ser una representación epistémica infiel.

En su famoso tratado *Desde un Punto de Vista Lógico* (1953) Quine afirma: “Tal es el viejo rompecabezas platónico del no ser. El no ser tiene que ser de alguna manera, pues, de otro modo, ¿qué es lo que no es? (...) Una línea de pensamiento como esa es la que mueve a filósofos como McX a postular ser en casos que, de otro modo, podrían permitirles quedarse satisfechos reconociendo que no hay nada. Tomemos, por ejemplo, el caso Pegaso. Si no hubiera tal Pegaso, arguye McX, no estaríamos hablando de nada cuando usamos la palabra; por tanto, sería un sinsentido incluso decir: ‘Pegaso no es’. Y pensando que eso muestra que la negación de Pegaso no puede ser mantenida coherentemente, McX concluye que Pegaso es” (Quine 1953, p. 26).

La analogía por la cual intitulé esta subsección como ‘el sofisma Pegaso’ se debe a que, comparando ambos argumentos, puede advertirse una coincidencia con relación al estilo argumentativo. Es importante destacar, para entender la razón del nombre, que la comparación pretende establecer una analogía en relación al estilo, no en relación con el contenido de la discusión. En efecto, se están discutiendo cosas diferentes. Mientras que en la obra de Quine el problema es respecto de la posibilidad de hablar sobre entidades inexistentes, en relación con Contessa el problema es en torno a si RCI son o no representaciones. Es decir, la existencia o inexistencia del target no es por el momento relevante ya que aquí aún no juega ningún papel. Lo que resulta relevante, y que justifica la razón de ser del nombre, es el estilo argumentativo que tanto Contessa como McX utilizan. En efecto, mientras que McX afirma, en relación con la posibilidad de hablar sobre entidades inexistentes, que de algún modo Pegaso tiene que ser pues si no sería un sinsentido hablar de él, Contessa afirma, en relación con la posibilidad de que una RCI no sea representativa, que de algún modo una representación completamente infiel tiene que ser una representación, pues, de lo contrario, sería un *sinsentido (incoherente)*. Como el

mismo Quine (1953) acepta, Russell ya había explicado en qué sentido podemos nombrar sin necesidad alguna de comprometernos con aquellas entidades supuestamente nombradas. Análogamente, no habría nada incoherente en afirmar que las denominadas RCI no son representaciones.

Ahora bien, si este no fuera el sentido de su expresión, entonces Contessa comete una flagrante petición de principio. ¿Tan incoherente es decir que un modelo a partir del cual se infieren todas conclusiones falsas no es representativo? Para afirmar la incoherencia de un enunciado semejante primariamente debe suponerse que ese modelo es en efecto representativo, es decir, se debe presuponer lo que se quiere demostrar. Solo bajo ese supuesto el planteo se vuelve incoherente. Pero precisamente eso es lo que se está discutiendo, y en ese sentido el argumento de Contessa descansa enteramente en el modo en que se formula: asevera que un modelo debe ser una representación epistémica para ser una representación epistémica infiel.

Por su parte, Frigg (2002) parece expresar de un modo más adecuado lo que en Contessa se muestra como una petición de principio. En su artículo “Models and representation: why structures are not enough” Frigg asevera que para evaluar un modelo primeramente tenemos que presuponer que representa pues, “solo cuando asumimos que M representa a T podemos preguntarnos qué tan bien hace su trabajo. Presentamos tentativamente un modelo como una representación de algo y luego tratamos de averiguar si es una representación precisa o no. Pero esto se vuelve imposible si negamos que un modelo falso tenga poder representativo. ¿Sobre qué base podemos decir que el modelo de disco de la tierra es incorrecto si negamos su carácter representacional?” (Frigg 2002, pp. 16-17). Si bien el argumento de Frigg, tal como se presenta, al menos no parece una petición de principio, sí descansa en un fuerte supuesto que a nuestro entender es inadecuado, a saber: la imposibilidad de diferenciar modelo de representación. Como explicaremos posteriormente, la representación se configura como una propiedad contextual y, por lo tanto, aquello que pudo ser representativo en una época, puede dejar de serlo. Pero aun cuando esto no se acepte, para responder la pregunta retórica planteada por Frigg es suficiente con distinguir la noción de modelo de la noción de representación. Esto permitiría decir que el modelo de la Tierra como un disco es un modelo de la Tierra en tanto que permite construir RS válidos, pero no es representativo porque todos los RS contienen conclusiones falsas. En

este sentido, deberíamos afirmar que es un modelo incorrecto pero no porque sea una representación incorrecta sino porque fue descartado precisamente por no lograr instituirse como representativo. Es decir, podemos evaluar si es un modelo de la Tierra atendiendo los RS válidos que permite realizar. Solo en una segunda instancia se introduce el carácter esencialmente valorativo de la representación, y se lo descarta como un modelo incorrecto por no permitir ningún RS sólido.

Por supuesto, como se dijo anteriormente, no alcanza simplemente con proponer supuestos y perspectivas contrapuestas, y por ello ya se han estipulado las ventajas y desventajas epistémicas de sendos criterios. En estos párrafos no se pretende retomar dicha discusión sino simplemente poner en evidencia, en contra de los argumentos usualmente configurados, que el criterio instituido en base a los RS sólidos ni es incoherente ni contradice la práctica científica. Es decir, Frigg y Contessa, junto con todos sus seguidores, podrán conservar el mismo conjunto de creencias; sin embargo, para ello, no solo tendrán que asumir las consecuencias de las desventajas epistémicas ya presentadas, sino que, y fundamentalmente, tendrán que reformular sus argumentos pues no hay contradicción ni sinsentido alguno en el criterio que aquí se defiende. Si esto se ha logrado demostrar, entonces el objetivo de la sección estará sumamente cumplimentado.

Pero, por último, antes de precipitarnos feliz y peligrosamente hacia la victoria, evaluemos el sentido por el cual, según Contessa, el criterio sustentado en los RS sólidos es demasiado estricto. Recordemos que la cita con al cual se inició esta sección rezaba que nuestro criterio o bien era demasiado fuerte o bien un sinsentido. Habiéndonos ocupado de lo segundo, veamos qué puede decirse sobre lo primero. Si bien en esta ocasión Contessa no se expide demasiado, aquí se intentará darle un sentido profundo a sus palabras analizando múltiples posibilidades. En primer lugar, huelga decir que si el criterio simplemente resulta estricto porque excluye del ámbito de la representación modelos cuyas inferencias contengan conclusiones absolutamente falsas, precisamente ese es el objetivo. Y la razón de ser de tal objetivo es que parece demasiado estricto, entre otras cosas, anular la posibilidad de un modelo no representativo. En segundo lugar, si lo es por el problema en torno a las *misrepresentaciones*, ya hemos explicado que no solo son problemas independientes, sino que el criterio basado en los RS sólidos, aceptando que toda

representación es parcial y que toda representación es una *misrepresentación* pero no su inversa, también puede dar cuenta de ellas.

En tercer lugar, aunque Contessa no lo afirme de un modo explícito, podría considerarse demasiado estricto pues presumiblemente un criterio basado en los RS sólidos excluiría la concepción ficcionalista sobre los modelos. En efecto, una objeción inmediata ante la propuesta aquí planteada podría configurarse a partir de una perspectiva teórica en trono de la representación que paulatinamente ha ganado terreno en el campo de la filosofía. El ficcionalismo es una concepción que tiene un origen remoto en la obra de Vaihinger, *The Philosophy of 'As If'* (1911/1924) (para una recuperación del texto de Vaihinger, ver Fine 1993), pero que en tiempos recientes ha recobrado fuerza en el ámbito del modelado a través de diferentes autores. Cartwright (1983, 2010) asume algún tipo de ficcionalismo cuando considera que los modelos son fábulas de las cuales no aprendemos a partir de los personajes –o entidades, para el caso de los modelos– específicos que en ellas se inscriben, sino a partir de las moralejas o conclusiones generales que de ellas se extraen. Por su parte, Toon (2010) y Frigg y Nguyen (2016, 2017) abrazan directamente el ficcionalismo cuando, a través de su concepción representacionalista denominada DEKI, recuperan la noción de juegos de fantasía de Walton (1990) para determinar el modo en que los científicos construyen un imaginario mediante el cual se pueden extrapolar al sistema target las propiedades ejemplificadas en el modelo. Incluso Suárez (2009a, 2010a) se suma a la moda al conjugar su concepción inferencialista con una perspectiva no veritativa de la ficción. Si bien esta perspectiva ficcionalista será críticamente evaluada en el Capítulo 4, resulta imperioso considerar algunos aspectos de esta propuesta en el contexto de la discusión aquí planteada pues, en efecto, podría poner en jaque el criterio presentado desde dos estrategias complementarias.

Desde este marco teórico, en primer lugar, la propuesta aquí presentada sería demasiado estricta porque aparentemente excluiría a las ficciones, y las excluiría precisamente porque estas introducen un desacople entre representación y verdad. En este sentido, Winsberg plantea que “en una primera aproximación, las ficciones son representaciones que no se preocupan por la verdad” (Winsberg 2009, p. 179) y, en la misma línea de análisis, Levy (2012) pone en consideración que entender los modelos como ficciones “implica que a menudo son falsos. Más importante aún, significa que, al menos en primera instancia, no

están regulados por la verdad” (Levy 2012, p. 738)²⁶. Este desacople promovido desde el ficcionalismo tiene su origen en las condiciones estipuladas por Vaihinger. Según Vaihinger las ficciones se caracterizan por dos aspectos: tener valor de verdad, en particular el valor de verdad falso; y la conciencia de dicha falsedad por parte de los usuarios.

Ahora bien, este desacople entre verdad y ficción no necesariamente atenta contra el criterio que aquí se ha presentado. De hecho la respuesta que se esgrimirá puede incluso contemplar la máxima vaihingeriana en torno a la asociación entre ficción y falsedad, siempre que se niegue que ello implique dislocar absolutamente la relación entre verdad y representación. Este movimiento es posible porque el hecho de que el modelo tenga elementos ficcionales (supongamos por mor de la argumentación que esto es así²⁷) no conlleva a que el modelo sea una ficción. Es decir, dado que el proceso de modelado es siempre una actividad incompleta y parcial, la presunta existencia de factores ficcionales introducidos usualmente para sortear un vacío teórico, como herramienta heurística que permite el desarrollo de nuevas hipótesis o incluso para la expansión de una teoría, no exime al modelo de adecuación empírica. Por lo tanto, los elementos caracterizados como ficcionales no anulan sino que, por el contrario, promueven el pretendido contacto – precisamente establecido por los RS sólidos– entre modelo y sistema. En este sentido, se puede afirmar que, aun cuando se pueda hablar de ficciones en el ámbito del modelado, ello no implica que los modelos no estén regulados por la verdad pues, como el mismo Vaihinger establece, la ficción “solo falsea la realidad con el objeto de descubrir la verdad” (Vaihinger, 1911/1952, p. 80).

Por otro lado, suponer que los elementos ficcionales pueden desvincular la práctica del modelado y la representación de la verdad no contempla que existe un discurso de lo verdadero en las obras ficcionales (cfr. Lewis 1978; Toon 2010; D’Alessandro 2016). A su

²⁶ Ni Winsberg ni Levy suscriben abiertamente estas tesis sino que las consideran como entendimientos estándares del ficcionalismo, que ellos luego intentarían subvertir. El sentido de las citas aquí presentadas es poner de manifiesto que, en su concepción tradicional, el ficcionalismo implica un distanciamiento de la verdad.

²⁷ Aquí no estoy realizando un juicio de valor en torno a la propuesta ficcionalista o la conveniencia de caracterizar de tal modo los ítems carentes de referente que en ocasiones se presentan en los modelos. Particularmente, como quedará evidenciado en el Capítulo 4, la apelación al término ‘ficción’ me resulta innecesaria e inconveniente. Sin embargo el objetivo aquí no es explicar las razones de mi recelo, sino habilitar un marco interpretativo del criterio basado en los RS sólidos en el cual el ficcionalismo se sienta incluido.

vez, tampoco contempla que tal desvinculación solo puede establecerse sobre la base de una asunción fuerte y restrictiva que asocia, incorrectamente, el proceso de representación con la “verdad, toda la verdad y nada más que la verdad”. Dado que el modelado es una actividad parcial, su relativa verdad también lo será, y por lo tanto, no hay razones para dudar en una posible conciliación entre las nociones de modelo, ficción, verdad, falsedad y representación. En síntesis, respecto de este primer inconveniente que presumiblemente generaría la concepción ficcionalista contra el criterio basado en los RS sólidos, es posible afirmar que este no excluye sino que, por el contrario, puede contemplar e incluir aquellas versiones estrechas del ficcionalismo (cfr. Suárez 2009a) que, al diferenciar las nociones de ficción, idealización y abstracción (Morrison 2009; Chuang 2014) y advertir que las ficciones son partes constitutivas más no constituyentes del modelado, logran congeniar fructíferamente las nociones de verdad y ficción (cfr. Godfrey-Smith 2009; Teller 2009; Winsberg 2009; Suárez 2010a; Levy 2012).

Pero aferrándose al ficcionalismo, los detractores de la propuesta que aquí se sugiere podrían apretar nuevamente el gatillo y afirmar que la misma sigue siendo demasiado restrictiva porque, aun cuando pueda contemplar las *misrepresentaciones*₂, carece de herramientas para explicar las *misrepresentaciones*₁ o representaciones *fictive*²⁸. El inconveniente surge debido a que, aparentemente, producto de la fuerte relación entre modelo y target que supone el criterio instituido sobre los RS sólidos, no sería posible, desde este criterio, explicar aquellos modelos, como el éter o el modelo del flogisto, que carecen de target. Frigg (2002) plantea que esta situación ponen contra las cuerdas a todo aquel que pretenda asociar representación con representación adecuada, ya que, al no poder dar cuenta de este tipos de modelos, entran en franca contradicción con la práctica científica.

Esta acusación merece una respuesta desde diferentes ángulos complementarios. Una primera respuesta, que corta el problema de raíz y que ya fue sugerida recientemente pero que completaremos en la siguiente sección cuando analicemos los ejemplos brindados por Contessa, es aseverar que el modelo del éter o del flogisto, desde los parámetros científicos

²⁸ Suárez (2009a) diferencia entre aquellos modelos que carecer de target, a los que denomina como *fictive*, y aquellos modelos que atribuyen propiedades inadecuadas a un modelo existente, a los que denomina como ficciones.

actuales, no representan en absoluto²⁹; es decir, se podría responder básicamente que no es cierto que todo modelo científico represente. En última instancia, suscribir esta tesis o su contraria depende de los costos que estemos dispuestos a pagar. Como afirma Chakravartty “si uno cuenta solo las representaciones científicas que se encuentran en relaciones informativas suficientemente buenas con sus target como genuinamente representativas, uno considerará cualquier cosa que caiga por debajo de ese umbral –*misrepresentaciones lo suficientemente severas*– como no siendo representaciones en absoluto. (...) Por el contrario, si uno cuenta todas las representaciones científicas meramente intencionadas como representaciones genuinas, independientemente de si se encuentran en relaciones informativas con sus targets, la intuición de que las tergiversaciones severas son, sin embargo, representaciones se satisface, pero a costa de frustrar la intuición de que «representación» no es un predicado que se aplique con sensatez a cosas que no representan nada.” (Chakravartty 2010a, p. 210)³⁰.

Una segunda respuesta podría advenir de considerar que las nociones de representación, verdad, falsedad y ficción deben interpretarse en términos contextuales y no transhistóricos. De analizar el modelo del flogisto desde esta perspectiva se advertiría las limitaciones del planteo, pues suponer que el modelo en cuestión es una ficción simplemente porque actualmente no se acredita en la existencia del flogisto implica realizar un juicio extemporáneo y por lo tanto injusto para con la historia de la ciencia. Esta muestra un sinnúmero de casos donde, en el contexto de un marco teórico y experimental determinado, ciertas entidades que hoy son desechadas del campo de lo existente, resultaron empíricamente contrastadas. Y precisamente, como afirma Chang (2012, 2018), el flogisto resulta una excelente muestra de ello. Como evidencia histórica de la inocuidad de la presumible contrarréplica instituida desde el ficcionalismo contra el criterio basada en los

²⁹ Esta posible solución no es extraña en la bibliografía sobre el tema. En efecto, aunque desde un punto de vista diferente, Callender y Cohen proponen esta idea como una posible solución. En el contexto de la perspectiva por ellos planteada, donde se asociaba la representación con la mera denotación, el problema se manifestaba en términos de cómo puede ser posible la representación de lo inexistente si se define la representación como una relación. Frente a esto, ellos proponen como opción “morder nuevamente la bala” y aseverar que cuando x no existe, los agentes no logran representar x (cfr. Callender y Choen 2006).

³⁰ Las itálicas no están en el original. Fueron establecidas con el propósito de resaltar que no toda *misrepresentación* sería una no representación sino las “suficientemente severas”, es decir, para el caso que nos compete, las denominadas *misrepresentaciones*₁, y, para el caso analizado anteriormente, las *misrepresentaciones*₃.

RS sólidos, basta la expresión de júbilo que en aquella época generaron los descubrimientos de Priesley en torno del flogisto, producto de los cuales dicho modelo se instituyó, con pleno derecho, como un modelo representativo: “Hemos hablado durante mucho tiempo del flogisto sin saber de qué hablábamos, pero ahora El Dr. Priestley ha sacado a la luz el asunto. Podemos verter ese elemento de un recipiente a otro, podemos decir cuánto de él con una medida precisa es necesario para reducir un calcio a un metal” (Chang 2018, p. 180) (para un análisis detallado del caso, ver Musgrave 1976; Kitcher 1993; Chang 2012). En este sentido, el carácter representativo que el modelo tiene en el contexto de la historia de la ciencia no se produce a pesar de sus falsedad sino, contextualmente, debido a su verdad (relativa e histórica). Es decir, dado que el modelo arrojaba conclusiones verdaderas, y dado que precisamente por ellas el modelo se impuso como tal, los actualmente denominados modelos ficcionales no parecen atentar contra el criterio que aquí se propone. Consecuentemente parece absolutamente posible atenerse a la historia de la ciencia desde el criterio sustentado a partir de los RS sólidos: a los fines de evitar un juicio que imponga prepotentemente el presente como único criterio de evaluación, el modelo del flogisto no es un buen ejemplo para mostrar que la representación no requiere verdad o relación con el target, o, para mostrar, como afirma Frigg (2002), que el criterio que haga colapsar la noción de representación con la noción de representación adecuada entra en contradicción con la práctica científica. En efecto, el modelo del flogisto fue un modelo representativo; pero la razón de ello fue porque pudo proveer información precisa. En última instancia, siguiendo los preceptos instituidos por Vaihinger, la ficcionalidad depende de la conciencia en la falsedad y esta propiedad característica de lo ficcional estaba ausente en el período de apogeo del flogisto. En síntesis, desde de un análisis contextual e histórico se puede echar por tierra la acusación de que el criterio en cuestión entra en contradicción con la práctica científica. El modelo es representativo pero no a pesar de, sino precisamente por haber suministrado información adecuada; es decir, por no haber sido considerado un modelo ficcional³¹.

³¹ Suárez, en su obra “Fictions, inference and realism” (2010a) intenta refutar la concepción veritativa de las ficciones inaugurada con Vaihinger y sustituirla por una concepción funcional donde ni la falsedad ni la conciencia en la misma se constituyan como características distintivas de las ficciones: la ficción se definiría por su capacidad inferencial. En este contexto, específicamente niega la viabilidad de interpretar (tal como se propone) la ficcionalización en términos contextuales. Sin embargo, los argumentos instituidos para tales fines no resultan convincentes. Luego de

Pero no solo el modelo del flogisto parece ser superficialmente tratado cuando se instituye como figura insigne del ficcionalismo. Lo mismo parece acontecer en el contexto del análisis del modelo del éter. Incluso si no se quiere aceptar la primera salida que directamente le niega potestad representativa al modelo del éter, reduciéndolo simplemente a un modelo ineficaz (en el sentido de no generar RS sólidos), se podrían adoptar estrategias divergentes que no reducen el problema a la existencia o no del éter. Es decir, aun dentro del contexto del criterio que aquí se defiende, la existencia o inexistencia del éter puede no ser determinante para caracterizarlo, legítimamente, como representativo. En este sentido, Morrison sostiene que la utilidad del modelo del éter, es decir, a entender de la autora, su representatividad, no radica ni depende en su existencia o inexistencia, sino en instituirse como un dispositivo heurístico que permitía introducir una dinámica mecanicista a partir de la cual se podía extraer información adecuada para comprender el modo en que se propagan las ondas electromagnéticas (cfr. Morrison 2015). Paralelamente, Hasok Chang en su famoso libro *Is Water H₂O?* realiza, desde una perspectiva francamente pluralista, un

asegurar, sin brindar ejemplo alguno (cfr Suárez 2010a), que las condiciones estipuladas por Vaihinger no son suficientes para caracterizar el carácter ficcional de los supuestos, Suárez pretende mostrar que tampoco son condiciones necesarias. Para ello, cuando intenta explicar, contra Vaihinger y toda la tradición, por qué la conciencia en la falsedad de la ficción no es una condición necesaria, aduce que suponer que sí lo es implica que “aquellas suposiciones que tomamos como ficticias a lo largo de la historia de la ciencia (por ejemplo, el éter, el flogisto, etc.) en realidad no han sido ficciones en absoluto. Y esto es inaceptable si tomamos el registro histórico al pie de la letra” (Suárez 2010a, p. 10). Lamentablemente el autor tampoco aquí brinda referencias bibliográficas ni explicación alguna para semejante sentencia. Como hemos demostrado a partir de las citas, la viabilidad de asumir que el modelo, en la época en que fue propuesto, no resultaba un modelo ficcional (incluso cuando pudiera tener elementos ficcionales) parece razonable. Pero, esta propuesta de Suárez tiene un problema mayor. Eliminar el campo de la conciencia en la falsedad (y la falsedad) como caracteres propios de la ficción y sustituirlo por la capacidad inferencial que las ficciones generan, asimila a estas con los elementos no ficcionales del modelado (pues estos también tienen capacidad inferencial). Pero si esto es así, es decir, si la ficcionalización no se caracteriza por su falsedad o la conciencia en ella, sino, al igual que los elementos no ficcionales, por su capacidad inferencial, entonces el carácter ficcional de los modelos no solo no será coyuntural sino, que, todos los modelos, incluso los actuales, podrían ser considerados ficcionales independientemente de que sean exitosos o no. Pero si todos los modelos son considerados ficcionales, y si un modelo ficcional es un modelo inadecuado entonces todos los modelos científicos pueden ser caracterizados, actualmente, como inadecuados. Por supuesto que esto resulta absolutamente desacertado. El problema es que ahora la perspectiva brindada por Suárez no solo no tiene, como dijimos, criterios para terminar si *A* representa a *B*, sino que no puede determinar si un modelo es ficcional o no, ni puede brindar condiciones que determinen si *A* representa adecuadamente a *B*. Pero si su perspectiva no logra dar cuenta de mínimas condiciones que logren determinar si un modelo representa o no, si es ficcional o no, o si representa adecuada o inadecuadamente, entonces ¿qué es lo que hace?

análisis similar al afirmar que el electromagnetismo clásico aún cumple funciones útiles en ciencia y coincide con descripciones relativistas; y que quizás por esto “Einstein fue lo suficientemente cuidadoso como para decir que la postulación del éter sería «superflua», no que hubiera probado su inexistencia.” (Chang 2012, p. 277).

Para terminar resulta necesario hacer una aclaración que resultará útil para considerar también las falencias argumentativas que expondré en la siguiente sección. Asumir el criterio basado en RS sólidos no me compromete con la necesidad de afirmar un pluralismo *ad nauseam* que multiplique como reales las entidades pasadas hoy descartadas. Sino que simplemente pone sobre aviso que los modelos se juzgan en función de los datos disponibles en una época y, en este sentido, el análisis de la adecuación empírica de un modelo depende del estado de conocimiento y los datos generados en el contexto histórico en que fue formulado. Que cambie el estado de conocimiento y los datos no dice nada de la adecuación empírica en un contexto dado, sino del avance científico: “Juzgar la aplicabilidad de un modelo en relación con los datos que están disponibles en ese momento es más realista que esperar el momento y la oportunidad en que se pueda emitir un juicio definitivo sobre la verdad o falsedad del modelo. Los modelos se evalúan en relación con los datos de los que dan cuenta y, por lo tanto, deben tener la facilidad de actualizarse con el tiempo, al igual que los mapas de carreteras. No se vuelven inválidos en retrospectiva.” (Bailer–Jones 2003, p. 69).

2.5.b.3 Argumentando con ejemplos

La última estrategia utilizada por Contessa para justificar la disociación entre solidez y representación, y para afirmar que la acción del representar a veces involucra éxito y a veces no, es apelar a una serie de ejemplos que presumiblemente explicarían la razón de ser de tal disociación. El problema de argumentar con ejemplos es que los mismos pueden ser sujetos a múltiples interpretaciones y en general suponen aquello que quieren demostrar.

Primer ejemplo: ¿Un noble del siglo XVII?

El primer ejemplo se extrae del mundo del arte. Alguien, argumenta el autor, podría inferir ciertas conclusiones de un noble del siglo XVII a partir de un retrato. Sin embargo, podría suceder que tales conclusiones fueran erróneas debido a que el pintor,

presumiblemente, no pretendía retratar a noble alguno. Siendo así, estaríamos, según Contessa, frente a una *representación* errónea.

El primer supuesto no menor de la argumentación es que las obras artísticas y científicas no solo son representaciones, sino que lo son de la misma clase. Como afirman Bueno y French, “después de todo, ¿qué tienen realmente que ver las pinturas, en particular las que se dan como contraejemplos de nuestro enfoque, que se extraen del arte abstracto, con la representación científica?” (Bueno y French 2011, p. 879). De hecho, aun cuando pensemos el arte en términos representativos, su práctica, método y objeto de referencia suelen ser de tan diferente tipo a los de la actividad científica (pensemos, por ejemplo, que una obra puede simplemente reflejar las emociones del autor, algo difícil de concebir en el contexto de la ciencia) como para que el análisis de una puede arrojar conclusiones convincentes sobre la otra. Pero por mor de la argumentación dejaremos de lado este detalle. Aun así el argumento presenta otras falencias.

En primer lugar, el ejemplo, al ser susceptible de múltiples interpretaciones, no demuestra nada pues nuevamente supone una petición de principio. En efecto, la posibilidad de pensar este caso como representativo depende de la noción de representación adoptada. En esencia este caso no resulta muy diferente al modelo del éter previamente analizado. En este sentido, si aceptamos, tal como se instituyó en la sección anterior como la primera posible solución al problema que el modelo del éter, precisamente por ser una *misrepresentación*₁, es un modelo pero no es un modelo representativo, podríamos concluir lo mismo para el ejemplo en cuestión.

Pero hay un argumento de mayor peso que reforzaría lo que anteriormente se propuso simplemente como una intuición o como una solución posible. El ejemplo como instancia demostrativa de las representaciones erróneas se desmorona cuando se advierte que no se está frente a un problema en la representación sino en una instancia previa aunque necesaria de la misma: la denotación. El intérprete sospecha erróneamente que el cuadro denota un individuo o clase de individuos que no se corresponde con aquello que el pintor quería reflejar. En este sentido, el cuadro puede acarrear un error en la denotación, pero esto no es en sí mismo un error en la representación. En efecto, este suceso no es una representación

fallida sino una denotación fallida³². Como afirma Lucero (2019): “Cuando el vehículo no refiere al target pretendido sino a otra cosa, solo en un sentido muy forzado podemos decir que lo representa. En otras palabras, si el vehículo no denota el objeto intencionado x sino otro objeto y , en realidad no está representando x sino que es una representación (adecuada o inadecuada) de y .” (Lucero 2019, p. 431). Recordemos que la denotación es una de las condiciones que deben darse para que haya representación. En efecto, Contessa afirma que un modelo es una representación epistémica de cierto sistema si y solo si (i) el usuario elige un vehículo para representar el sistema y (ii) el usuario adopta una interpretación del modelo en términos del sistema. Al establecer condiciones necesarias y suficientes mediante el bincondicional, si no se da la primera condición, no hay representación. Por lo tanto si no hay denotación, en principio, no habría representación.

Segundo ejemplo: El modelo atómico de Thomson

Analicemos ahora el segundo ejemplo para tratar de entender mejor las fuentes de la confusión en la que, a mi juicio, incurre Contessa en su intento de hacer que la representación no colapse con la noción de representación exitosa. En este segundo ejemplo el autor trabaja con un modelo científico: apela a un modelo del átomo actualmente desacreditado, que fuera desarrollado en su momento por Thomson y que se conoce como modelo del “budín de pasas” precisamente porque se representaban los electrones incrustados en una masa cual pasas en un budín. Dado los datos empíricos disponibles y los supuestos teóricos de la época, el modelo era una sugerencia plausible de cómo podría ser el átomo, ya que no se reducía a postular su neutralidad eléctrica (luego desacreditada por el experimento de Rutherford), sino que también permitía una justificación de del carácter compuesto del átomo y de algunos desarrollos cuantitativos relevantes. Pero, posteriormente, una serie de investigaciones empíricas y nuevos datos obtenidos demostraron que casi todas las inferencias válidas que se habían extraído del modelo eran falsas. La pregunta es si esta concatenación de eventos hace que el modelo deje de ser representativo. El autor usa este tipo de ejemplos para afirmar que lo más conveniente es

³² En concordancia con Contessa (2007a), quien considera que para su análisis respecto de la representación epistémica no es necesario adoptar ninguna explicación específica sobre la denotación, considero que para los propósitos de los argumentos que aquí se presentan, dicha explicación tampoco es necesaria. En este sentido, una falla en la denotación puede deberse o bien a que el ente denotado no existe o bien a que la denotación apunta a una entidad diferente al que se pretendía.

pensarlos como modelos representativos no completamente fieles. Sin embargo, nuevamente, la ambigüedad en el modo en que se caracteriza el caso puede generar confusiones. En “Scientific representation, interpretation, and surrogate reasoning” el autor afirma que “en ningún momento dejamos de considerar el modelo como una representación del sistema por ser una representación infiel. El modelo de Thomson del átomo es un buen ejemplo histórico de un modelo que está muy cerca de ser una representación completamente infiel de su target y, sin embargo, se considera una representación de él.” (Contessa 2007b, p. 63). En primer lugar cabe preguntar: ¿qué significa ‘está muy cerca de’? La definición de RCI no da lugar a tal imprecisión: en ella ninguna conclusión es verdadera (cfr. Contessa 2007a, p. 37). En este sentido el argumento es deficiente pues ni siquiera se constituye sobre un caso pertinente. Estrictamente, el modelo solo es una representación parcialmente fiel, es decir, una mala representación pues muchas (pero no todas) de sus inferencias no son sólidas.

Ahora bien, en favor de la argumentación y reconociendo la dificultad de encontrar un caso efectivo en la ciencia de un modelo científico reconocido que tenga todas sus conclusiones falsas, obviemos este detalle y asumamos el caso conceptualmente como caso límite. Aun así, lo único que tenemos es un modelo caído en desuso; y la razón de ello puede o bien deberse a que se lo considera una representación infiel, o bien a que ya no se lo considera como representativo. Esta doble posibilidad se debe a que, en cualquiera de los casos, el ejemplo ni explica ni demuestra sino que supone aquello que pretende concluir. En efecto para afirmar que el ejemplo brinda razones para pensar que una RCI sigue siendo representativa debemos suponer la concepción interpretativa de Contessa. Esta petición de principio se hace patente cuando, en respuesta a la posibilidad de establecer los RS sólidos como criterio representativo, el autor simplemente afirma en relación con el modelo atómico de Thomson que “no parece haber razón para pensar que, cuando descubrimos que incluso las últimas inferencias no eran sólidas, dejamos de considerar el modelo como una representación del sistema. A lo sumo, dejamos de considerarlo como una representación parcialmente fiel del sistema” (Contessa 2007b, p 64). Sin embargo, dado que la misma afirmación, pero en sentido contrario, puede ser proferida por aquellos que pretenden inferir lo opuesto de lo que infiere Contessa, lo más razonable es concluir que del ejemplo en cuestión nada definitivo puede afirmarse; y que, por lo tanto, la argumentación del autor es

deficiente porque no demuestra lo que pretende: o bien el modelo tomado como ejemplo es una mala representación porque la mayoría (pero no todas) las inferencias son falsas, o bien el ejemplo presupone lo que se quiere demostrar.

2.5.b.4 Los argumentos de Bolinska

Bolinska es una autora crítica de la propuesta de Contessa pero no en relación a los aspectos que aquí se están señalando. Por el contrario, desde una perspectiva diferente, que pone el foco en la informatividad, insiste en la disociación entre verdad y representación. En este sentido la incluimos dentro de esta sección para evaluar si puede brindar los argumentos que Contessa no supo dar.

La principal crítica que realiza Bolinska al trabajo de Contessa, que en definitiva promoverá el desarrollo de su propia concepción sobre la representación, es que la concepción interpretativa de Contessa no solo no permite diferenciar aquello que es representativo de aquello que no representa en absoluto, sino que trivializa el proceso de representación. Según su parecer, si todo proceso representativo no es más que una mera denotación que habilita (vía un proceso interpretativo) RS válidos, y si un proceso interpretativo no tiene más restricciones que las que el intérprete impone, entonces cualquier cosa puede ser una representación científica de cualquier cosa. Sin embargo, afirma, en ciencia eso no parece ser ni cierto ni deseable. Precisamente para evitar esta trivialización de la representación, Bolinska propone su teoría sobre la representación basada en la informatividad. Desde esta perspectiva un modelo es representativo si es informativo, y es informativo si el modelo se construye con el objetivo de brindar una representación (en el mismo sentido en que Contessa lo define) de algún aspecto del sistema target. Pero, se consigna, aunque la noción de representación esté relacionada con la noción de verdad, no la requiere: “Para que un vehículo califique como una representación epistémica de un sistema target, no necesita representar fielmente este sistema. Sin embargo, al igual que con la interpretación, debe elegirse o construirse con el objetivo de representarlo fielmente. El objetivo de la representación fiel prohíbe el uso de un vehículo arbitrario para representar un determinado sistema.” (Bolinska 2013, p. 229).

Las razones por las cuales Bolinska trata de disociar informatividad y solidez no son claras y el éxito en tal disociación tampoco. Resulta evidente, pues así lo declara explícitamente, que el origen inmediato de su creencia se remite al artículo de Scarantino y

Piccinini, intitulado “Information without truth” (2010), de donde Bolinska toma prestado el sentido de ‘informatividad’ para fundamentar su concepción informativa de la representación. Analicemos por un momento el artículo en cuestión.

En este artículo se realiza un primer movimiento donde se distingue entre información natural no convencional, ejemplificada mediante las manchas de sarampión como indicio de la existencia del sarampión, e información no natural convencional, como podría ser, por ejemplo, la información que uno puede obtener a partir del sonido de un timbre. El segundo movimiento del artículo es concentrarse en el primer tipo de información y preguntarse ¿acaso es posible que las manchas de sarampión produzcan información sobre el sarampión aun cuando dicho fenómeno no se presenta? Los autores responden este interrogante apartándose de la clásica tesis de la veracidad sobre la información que sostiene que la información requiere verdad, y abrazan una tesis según la cual la informatividad no descansa sobre la verdad. “¿Puede el humo transportar información natural sobre el fuego cuando no hay fuego? (...) Según Grice, la respuesta a estas preguntas parecería ser no. (...). Nos apartamos de esta imagen estándar al sostener que la transmisión de información natural implica nada más que la verdad de una afirmación probabilística.” (Scarantino y Piccinini 2010, p. 316). Mientras que aquellos que defienden que la información, para ser tal, requiere de verdad, es decir, que para que el humo o las manchas de sarampión sean informativas sobre el fuego o el sarampión, respectivamente, en efecto tiene que acontecer que haya fuego o se padezca de sarampión, Scarantino y Piccinini replican tal presupuesto afirmando que, en el contexto de las ciencias cognitivas e informáticas, esto no necesariamente resulta así ya que una fuente A puede brindar información sobre p aun cuando p sea falsa. Según Scarantino y Piccinini, las verdades probabilísticas son una muestra de cómo resulta convenientemente factible que una fuente (como por ejemplo el humo) pueda brindar información sobre un evento (como por ejemplo un incendio) aun cuando este suceso en efecto no acontezca. La capacidad de brindar información sobre p aun cuando p , de hecho, sea falsa, se debería a la confianza que genera el alto grado de correlación que existe entre los eventos mencionados.

No es objeto de esta sección introducirse en el vasto universo teórico en torno a la informatividad donde, entre otras concepciones, se postulan aquellas que aseveran que la verdad interviene en la definición de información (por ejemplo, Floridi 2011), ni evaluar los

alcances de la obra de Scarantino y Piccinini. El objetivo simplemente es evaluar la pertinencia argumentativa de esta perspectiva teórica defendida por Bolinska para sustentar la hipótesis de que la informatividad, en el contexto de la representación, no requiere verdad. En este sentido, una primera conclusión a la que se puede arribar en función de lo antedicho es que la pretensión de excluir la verdad como factor decisivo para evaluar la representatividad de un modelo, apelando a la teoría sobre la información presentada por Scarantino y Piccinini, parece, de mínima exagerado. Incluso cuando la sentencia ‘una fuente puede brindar información sobre «p» o aun cuando «p», de hecho, sea falsa’ fuera admisible, en tanto que dicha admisibilidad se sustenta sobre la base de la fiabilidad informativa que generan las verdades probabilísticas, ello no contribuiría a favor de las conclusiones que extrae Bolinska³³ en relación con la disociación entre verdad e informatividad. En efecto, es suficiente resaltar el evidente hecho que las verdades probabilísticas, aunque probabilísticas, por definición siguen siendo verdades. En este sentido, dado que Bolinska fundamenta la disociación entre verdad y representación apelando al concepto de informatividad brindado por Scarantino y Piccinini, y dado que, como vimos, tal disociación no parece del todo justificada en el contexto de esta teoría (ya que la noción de informatividad a la cual apela Bolinska para caracterizar el rasgo distintivo de la representación sigue entrelazada con la verdad), podemos concluir que la estrategia de extrapolar supuestos de un perspectiva específica sobre la informatividad al ámbito de la representación no resultó fructífera.

Sin embargo, Bolinska brinda otro argumento relativamente independiente en favor de su concepción no veritativa de la información. En el marco de la argumentación contra la arbitrariedad de la representación que suponía la perspectiva de Contessa, Bolinska recupera un ejemplo brindado por Suárez (2004) donde afirma que, para el caso en que quisiéramos estudiar el movimiento de los barcos, resultaría más informativo representar el mar con una hoja y los barcos con bolígrafos, que su inversa, representar el mar con los bolígrafos y los barcos con la hoja. En este contexto, Bolinska afirma que la

³³ Quizás esto sea también, o fundamentalmente, un error de Scarantino y Piccinini. Sin embargo no es su obra ni la teoría sobre la información lo que aquí se está evaluando. Por el contrario, el apartado se reduce a considerar si Bolinska puede proveer los argumentos de los que carecía Contessa. Pueden incluso existir otras teorías sobre la información que sean más convincentes en lo que respecta a la mentada disociación. Incluso si así fuera, dado que lo que aquí se evalúa es el trabajo de Bolinska, ello resultaría irrelevante.

“caracterización informativa de un sistema no implica que llevará a un usuario a sacar conclusiones que sean verdaderas: mientras que las trayectorias de los bolígrafos, en el modelo donde hay dos bolígrafos sobre un papel, podrían cruzarse, llevándonos a inferir que los barcos se estrellarán, esto podría no ser cierto para el sistema de barcos en el mar.” (Bolinska 2013, p. 224). Ahora bien, si el modelo de dos bolígrafos en un papel, donde los bolígrafos refieren a los barcos y el papel al mar, es mejor que el modelo inverso, precisamente porque, en tanto que permite inferir que los barcos, por ejemplo, se estrellarán, tiene un mayor grado de informatividad, ¿en qué sentido eso no implica asociar informatividad con verdad? Una primera respuesta, presumiblemente supuesta en la primera cita que se ha presentado en esta sección, podría ser que el sentido de la disociación se debe a que la fidelidad es un objetivo, no una condición de hecho. Sin embargo, ello no resulta demasiado iluminador, pues la preferencia de un modelo por sobre el otro descansa en que se sabe que los barcos, de hecho, pueden estrellarse. A su vez, si lo que Bolinska pretende afirmar es que lo que caracteriza a la representación no es que las inferencias de hecho se comprueben como ciertas, sino que el agente construya el modelo con la *pretensión* de que el mismo arroje inferencias sólidas, eso, en tanto que vuelve a agotar la representación en la intención, hacer resurgir la amenaza respecto de la trivialización de la representación que en un principio se quería evitar. Pero por otro lado, si esto fuera así, resultaría más adecuado adoptar una especie de transitividad en la pretensión, y aseverar que cuando un agente usa el modelo con la pretensión que el mismo brinde información cierta sobre el sistema, entonces ese modelo *pretende* ser representativo; pero para que en efecto lo sea, la información que el modelo arroja tiene que ser, al menos, empíricamente adecuada.

Por último, tampoco resulta ventajoso pretender justificar la disociación entre verdad y representación aduciendo, en el contexto del argumento brindado en torno a los barcos y el mar y teniendo en consideración la perspectiva probabilística sobre la información brindada por Scarantino y Piccinini, que los barcos que puntualmente se están analizando no llegaron a estrellarse. Si bien esta hipótesis puede inferirse del hecho de que, como sostenían Scarantino y Piccinini, una fuente *A* puede brindar información sobre *p* aun cuando *p* sea falsa, en el contexto de la pregunta sobre la representación resulta evidente que un modelo nunca es un modelo de un sistema particular sino de un sistema como clase. Y, en efecto, la

clase de los barcos en el mar tiene como una de sus posibilidades la disposición de estrellarse, así como el hidrógeno tiene la disposición de enlazarse con el carbono, aunque a veces no lo haga. En consecuencia, precisamente porque los barcos tienen esa disposición y dicha disposición resulta realizable para el caso que los barcos sean los bolígrafos, pero no para el caso que sean la hoja, es que el primer modelo resulta más representativo que el segundo.

* * *

En este capítulo se ha realizado un recorrido acerca del problema de la representación, identificando las virtudes y las deficiencias de las diferentes propuestas establecidas sobre la representación en la bibliografía vigente. El objetivo principal de este capítulo, sin embargo, no fue intentar introducirme sustancialmente al interior de la espinosa y vasta discusión respecto de la representación, sino que la caracterización detallada de las principales concepciones pretendía resaltar, mediante críticas propias y ajenas, los grandes problemas que aún perduran en torno de la noción de representación. Pero este primer objetivo es subsidiario de otro objetivo mayor: poner en evidencia que la dispersión y oscuridad conceptual que, según los partidarios de la concepción semántica, acarrea la noción de interpretación propuesta en el contexto del positivismo lógico, se replica aquí con mayor crudeza. De haber cumplimentado estos propósitos, entonces se podría establecer que habremos dado un primer paso, aun no concluyente, en la dirección buscada: aun cuando los modelos se constituyan como articuladores fundamentales del conocimiento científico, no resulta ni clara ni distinta la noción en la cual, según los partidarios de la concepción semántica, subyace la potencialidad cognoscitiva de los modelos. En este sentido, como síntesis parcial que le confiere un sentido unificado a los dos capítulos hasta aquí presentados, podemos afirmar, junto con Pincock, que a “estas alturas, la mayoría de los filósofos de la ciencia estarían de acuerdo en el enfoque en términos de entidades no lingüísticas, suministrado a partir del análisis de los modelos, es una mejora respecto del enfoque «sintáctico» (...). Pero haber cambiado nuestra atención hacia los modelos no fue una panacea. En particular, una vez que pensamos en las teorías como colecciones de modelos, se vuelve mucho más difícil decir en virtud de qué una teoría representa una situación o un estado de cosas dado” (Pincock 2005, p. 1251).

Capítulo 3

El perspectivismo y los modelos incompatibles

Resumen: En el Capítulo 2 hemos analizado las particularidades y dificultades suscitadas en torno al problema de la representación para dar cuenta de la relación entre el binomio modelo-target. En este capítulo continuaremos en la misma línea de investigación, pero focalizándonos en las dificultades que genera la existencia de modelos incompatibles en relación con la concepción representacionista de los modelos científicos. Para ello, en la Sección 3.1 estableceremos el marco metodológico en el que se inscribe nuestra propuesta. Siguiendo los lineamientos formulados por Sober (1999), intentaremos demostrar que las prácticas inferenciales instituidas en el contexto de los modelos incompatibles no permiten inferir que el objetivo primordial de la actividad del modelado sea representar. Pero en este capítulo no intentaremos desmoronar cualquier concepción representacionista, sino específicamente la concepción representacionista que deviene del perspectivismo. Dado que esta posición no pretende incluir, sino por el contrario, intenta anular la posibilidad misma de los modelos incompatibles, aduciendo que un atento análisis evidenciaría que la incompatibilidad resulta aparente como consecuencia de una incompreensión de la parcialidad ínsita al proceso de modelado y representación, la estrategia de este capítulo será la siguiente. En primer lugar, en la Sección 3.2 explicaremos en qué sentido los modelos sobre la electronegatividad y sobre los enlaces químicos resultan incompatibles. Luego, en la Sección 3.3 mostraremos cómo debe entenderse la incompatibilidad desde el punto de vista modelístico. En la Sección 3.4 presentaremos las tesis fundamentales del perspectivismo y qué estrategias esgrime esta postura para intentar resolver el problema suscitado por los modelos incompatibles. En este contexto, con el objetivo de promover y mejorar la línea crítica desarrollada por Morrison contra el perspectivismo, retomaremos someramente el hilo argumentativo presentado por la autora para evaluar los límites de su trabajo y los alcances de las defensas vertidas por los partidarios de la corriente perspectivista. Este análisis resultará iluminador porque pondrá en evidencia cuáles son las estrictas restricciones impuestas desde el perspectivismo para que pueda efectivamente darse una genuina incompatibilidad. Por último, ya teniendo claro las exigencias

perspectivistas explicaremos por qué los casos presentados en la Sección 3.2 no están sujetos a las críticas que le fueran realizadas a Morrison, y por lo tanto, mejorando su propuesta, se constituyen como auténticos contraejemplos de la propuesta perspectivista.

3.1 Introducción

En un artículo publicado en 1999 denominado “Instrumentalism revisited”, Elliott Sober establece una serie de casos imaginarios, pero posibles, con el propósito de insertarse en la longeva discusión desarrollada entre instrumentalistas y realistas. Para ello, consciente de que los científicos pueden o no ser capaces de describir fielmente su propia actividad, se propone evaluar el sentido de las prácticas inferenciales de la ciencia.

En términos esquemáticos, la discusión instrumentalistas versus realistas, Sober la presenta del siguiente modo: mientras que el realista preconiza la verdad como el objetivo primario de las prácticas científicas y contempla la predictibilidad como un aspecto, determinante, pero subsidiario de aquella, el instrumentalista invierte el escenario considerando la predictibilidad como lo primariamente relevante e independiente de la verdad. Es así que, ante una teoría T_1 verdadera y otra teoría T_2 falsa, para el realista resultaría (normativamente) preferible la primera de ellas, dado que, si fuera relevante la predictibilidad, nada resultaría más predictivamente fiable que la verdad. Planteada la situación de esta manera, podría afirmarse que la convergencia entre verdad y falta de predictibilidad resulta improbable y, por lo tanto, dado que la verdad se constituye como el mejor garante de la predictibilidad, a la luz de este argumento realista, esta debería instituirse como el objetivo principal de la ciencia.

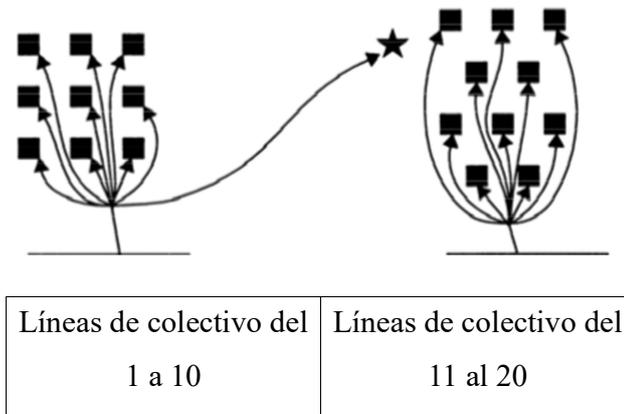
Frente a semejante estado de cosas, Sober echa por tierra cualquier tipo de análisis psicoanalista que evalúe las metas de los individuos o de la comunidad científica, y con ello desestima también la discusión teórica en torno a cuál de los posibles valores de la verdad se constituye como mejor garante de la predictibilidad. Su estrategia será evaluar el realismo o instrumentalismo a partir de las prácticas inferencialistas mismas. Es decir, asumiendo que para determinar qué es una buena o una mala inferencia se requiere de una serie de considerandos que legitimen esa elección, la estrategia de Sober es evaluar las prácticas inferenciales que de hecho se producen en la ciencia para definir a partir de ellas cuál es el objetivo de la ciencia: “Se podría discutir si los científicos deberían buscar teorías

verdaderas o teorías que sean predictivamente precisas. O bien, se podría argumentar acerca de lo que los científicos de hecho están consiguiendo cuando distinguen una buena inferencia de una mala. Es esta última cuestión la que me interesa. No voy a discutir cuáles son los imperativos categóricos a los que los científicos deberían jurar lealtad” (Sober 1999, p. 7). Sober pretenderá demostrar que, aun cuando sea cierto que la verdad es el mejor garante de la predictibilidad, no es cierto que la primera sea el objeto primario de la práctica científica. Para ello recurrirá al análisis de estas prácticas, con la confianza de que ellas echarán luz sobre qué es lo efectivamente relevante para explicar la dinámica científica.

Para cumplimentar este objetivo Sober, primero, presenta una dicotomía que presumiblemente pondría negro sobre blanco las opciones en disputa al evidenciar que los deseos de encontrar la verdad y encontrar la predictibilidad entran en conflicto: supóngase, en principio, un conjunto de hipótesis donde la primera de ellas resulta falsa pero predictivamente superior a una segunda hipótesis verdadera. Un realista, que entrona la verdad como objetivo primario de la ciencia, se inclinaría (so pena de relegar la verdad como objeto primario de la investigación científica) por la segunda de ellas; en cambio un instrumentalista lo haría por la primera³⁴. Para doblegar la posible contrarréplica realista que anulara de raíz el argumento aduciendo que tal situación resulta imposible, Sober propone un modelo de juguete que presumiblemente obturaría la conveniencia del principio realista. Supóngase que se tenga como destino la Facultad de Filosofía y Letras, particularmente Puán 480, y que existe una plétora de colectivos subdivididos en dos grupos. En el primer grupo hay 10 líneas que van de 1 al 10, 9 de las cuales nos conducen a un lugar muy distante y solo una nos lleva exactamente a la puerta. En cambio, para un segundo grupo de colectivos compuesto por las líneas 11 a 20, ninguna nos conduce a la puerta, pero todas ellas nos acercan considerablemente (ver Figura 2).

Suponiendo que del primer lote de colectivos no sabemos cuál tiene como destino Puán 480, ¿cuál sería la estrategia más razonable a adoptar? Sober afirma que “incluso si un autobús con un número bajo es el que va más cerca, no se sigue que la mejor manera de acercarse sea tomar un autobús con un número bajo.” (Sober 1999, p. 13).

³⁴ Evidentemente el caso donde una mayor predictibilidad coincide con la verdad no resulta esclarecedor pues aquí las propuestas realistas e instrumentalistas se solapan.



(Figura 2)

Este es un ejemplo de juguete que, en tanto tal, poco nos dice de la práctica científica misma. Sin embargo, provisoriamente sirve para evidenciar que, aun cuando de un conjunto de hipótesis una fuera la verdadera, y aun cuando la verdad brinde la mayor precisión predictiva, ante el velo de la ignorancia, no se sigue que la opción más razonable sea intentar identificar aquella que contiene la verdad.

Resulta claro que el ejemplo en cuestión puede sufrir un sinnúmero de reparos argumentativos. En primer lugar, no es, como dijimos, un caso de una práctica científica. En segundo lugar, se podría afirmar que lo que el argumento demuestra no es que la predictibilidad pueda prescindir de la verdad, sino que en ocasiones la verdad viene en grados. En este sentido, Sober no solo tiene una concepción muy rígida de la verdad sino que también realiza un salto injustificado entre verdad y precisión: ambos lotes conducen al destino adecuado y están, por lo tanto, relacionados –aunque aproximadamente para el segundo lote de colectivos– con la verdad. Por último, podría afirmarse que la dicotomía tal como aparece propuesta ni siquiera resulta ilustrativa, ya que habría que mostrar la efectiva existencia en la práctica científica de una combinación semejante entre mayor predictibilidad y falsedad y menor predictibilidad con verdad.

Estas críticas resultan razonables, pero todas ellas encuentran su límite en el proceso de modelización. Esta práctica podría ejemplificar más cabalmente de lo que Sober propone solo en términos ficcionales. El acto de la modelización parece ser un excelente contraejemplo que pone en entredicho la máxima realista dado que las idealizaciones,

entendidas (por el momento) como deliberadas distorsiones que falsean el sistema de estudio al obturar (en función del objetivo de la investigación) mecanismos causales efectivos, resultan a los efectos del proceso de la modelización no solo imprescindibles sino en la mayoría de los casos deseables para el correcto y efectivo establecimiento de los razonamientos subrogantes predictivos (Wimsatt 2007; Forster 2000; Downes 2011). Es decir, las idealizaciones, como factores determinantes para el proceso predictivo, producen una fisura en el discurso realista y representacionalista, ya que se instituyen como un caso que pone en cuestión el argumento del no milagro al incentivar y preconizar el éxito predictivo desde asunciones falsas.

Si se quisiera emular el argumento brindado por Sober pero desde una perspectiva modelística, se podrían suponer dos hipótesis, una de ellas (H_1) verdadera pero predictivamente pobre y otra de ellas falsa (H_2) pero predictivamente poderosa. Es fácil advertir que, en el contexto del acto de la modelización³⁵, una situación semejante se genera con modelos pretendidamente “completos”, que incorporan la mayor cantidad de variables efectivamente existentes pero se vuelven operativamente inviables, y modelos idealizados, que desechan o distorsionan mecanismos causales reales en pos de adquirir una mayor capacidad inferencial y predictiva. Semejante situación plantea el siguiente escenario

	Mayor predictibilidad	Menor predictibilidad
Verdadera		H_1
Falsa	H_2	

Asimismo, si ahora consideramos una hipótesis (H_3), que se obtiene como producto de un modelo altamente idealizado pero con bajo grado de predictibilidad, surge la siguiente combinación posible:

³⁵ El argumento es presentado a partir de hipótesis y no en relación con los modelos. Como ya fue establecido, los modelos no son en sí mismos hipótesis pues ni son estructuras lingüísticas ni son verdaderos o falsos. Entiéndase que aquí me refiero a los contenidos proposicionales que pueden extraerse del modelo. Confío en que esta transgresión, al menos para la presentación propuesta, no altera el sentido de la argumentación.

	Mayor predictibilidad	Menor predictibilidad
Verdadera		H ₁
Falsa	H ₂	H ₃

Ahora sí el argumento de Sober encuentra un ámbito para poder desplegarse en el espacio de lo real con mayor grado de credibilidad. Ante estos estados de cosas Sober plantea que el realista, asumiendo el principio antedicho respecto de que la verdad se constituye como objetivo de la actividad científica, tendría inconvenientes en ambos casos. En el primer caso, el realista, siguiendo su máxima, debería elegir H₁, mientras que respecto con la segunda situación planteada, debería descartar ambas. Recordemos que aquí no se está evaluando qué tipo de valor de verdad resulta más predictivo pues en los casos planteados esto se presenta como un *factum*. Lo que se pretende evaluar es cuál es el alcance de la máxima realista. En este sentido, si bien resulta evidente que para el último caso el realista no descartaría ambas, sino que aceptaría (quizás provisoriamente apelando a una distinción entre creencia y aceptación) H₂, esta elección no podría estar sustentada a partir de la máxima realista.

Ahora bien, es suficiente introducirse marginalmente en la bibliografía concerniente al proceso de modelado y a las idealizaciones, para advertir que esto no supone una clausura de la discusión. Los realistas han desplegado variadas estrategias para justificar las idealizaciones desde su propio marco. En este sentido, se denuncia que las situaciones planteadas son ficticias e irreales, y por lo tanto, no se constituyen como fuentes eficaces para evaluar las prácticas inferenciales, dado que todo modelo, aun idealizado, “esconde” su verdad. Se encuentran así, en este mosaico realista, estrategias que apelan a estructuras parciales (Ladyman 1998, 2011; French y Ladyman 2003; Ladyman y Ross 2007), a la institución de diferentes tipos de realismos selectivos (Hacking 1983; Chakravartty 1998; Ghins 2014), o que apuestan directamente por un proceso de des-idealización (McMullin 1985; Jones 2005; Norton 2012).³⁶

³⁶ Resulta claro que las idealizaciones no atentan contra el objetivo del realista porque, desde esta perspectiva, las idealizaciones se introducen precisamente para “encontrar” una verdad. Pero sospecho que ellas sí ponen en aprietos el argumento del no milagro. Literalmente, aquí se pasaría de la falsedad a la verdad. Se podría afirmar que, cuando se idealiza, se intenta identificar los patrones estructurales fundamentales y, por lo tanto, el paso es desde lo verdadero hacia lo

Por lo tanto, para que la iniciativa desarrollada por Sober pueda resultar prometedora se requiere dar un paso más. En esta capítulo y el siguiente se intentará emular el estilo argumentativo y metodológico del autor en favor de un punto de vista instrumentalista apelando a un caso no imaginario que resulta más efectivo y que se replica insistentemente en la práctica científica: el caso de los modelos incompatibles. De todos modos, para los objetivos de la presente tesis haremos un corrimiento argumentativo. La puesta en escena de los modelos incompatibles no tendrá como objetivo instituirse contra el realismo sino contra otra categoría que lo incluye pero no lo agota: la representación. Es decir, este trabajo no tendrá como target ni el realismo ni el antirrealismo, sino la postura representacionalista según la cual los modelos se instituyen para representar. El objetivo será evidenciar que el representacionalismo, ya sea desde una perspectiva realista o no, no puede proveer una respuesta sólida frente a la existencia de modelos múltiples e incompatibles. O, para decirlo en términos propios de la metodología que aquí se pretende adoptar, que las prácticas inferenciales instituidas en el contexto de los modelos incompatibles no permiten inferir que el objetivo primordial de la actividad del modelado sea representar

Desde esta perspectiva la apuesta será mostrar que la existencia de modelos incompatibles presenta una dificultad mucho más difícil de zanjar que la presentada por las representaciones inadecuadas (*misrepresentations*). Si los modelos se construyen como fuente del conocimiento y la fuente de conocimiento descansa en su capacidad de representar, entendida esta en términos de la capacidad informativa que un modelo arroja sobre el sistema, los modelos incompatibles destruyen los cimientos sobre los que se fundamenta el conocimiento debido a que obtura toda interpretación posible en término de informatividad. Estos casos no solo anulan la inferencia que concluye tesis realistas a partir del éxito predictivo, sino que, fundamentalmente, al no poder especificarse cómo es el sistema, ponen en crisis cualquier concepción que considere que la potestad cognoscitiva de los modelos descansa en la capacidad que tienen para representar el fenómeno.

verdadero. Pero habría que considerar que una idealización no es una simple abstracción, sino que desprecia aspectos relevantes. El realista podría insistir que hay aspectos relevantes reales fundamentales y aspectos relevantes reales no fundamentales. ¡Muy justo! Pero para que la respuesta no sea ad hoc se requiere de una comprobación específica en cada caso. El Capítulo 5, aunque no tiene como objetivo argumentar en este sentido (porque no es este el objetivo de la tesis), introducirá un caso donde parece que esto no se cumple.

Como veremos en el presente capítulo, la versión pragmatista y perspectivista de la representación propuesta por Giere resulta adecuada para dar cuenta de los modelos incompatibles aquí presentados. Similares conclusiones se obtendrán en el Capítulo 4 en relación con el pluralismo científico y con la versión inferencial propuesta por Suárez.

3.2 Modelos incompatibles en química

Lo apremiante de la situación generada a partir de la existencia de modelos incompatibles, no es solo lo que supone, sino que dicha situación no es ajena a la práctica científica. De hecho, por el contrario de lo que puede suponerse, tampoco son casos aislados propios de ciertas disciplinas o inclusive de ciertas teorías. Existen numerosos y diversos casos de modelos incompatibles (Weisberg 2006; Betz 2009; Morrison 2011, 2015; Green 2013; Friend 2017). A continuación expondremos dos casos que son sumamente relevantes para la práctica química: tres modelos desarrollados para dar cuenta de la electronegatividad y los modelos sobre el enlace químico conocidos como Enlace de Valencia y Orbital Molecular.

3.2.a Modelos incompatibles sobre la electronegatividad

La electronegatividad, entendida como la medida de la tendencia de un átomo para atraer electrones, constituye uno de los conceptos fundamentales para explicar las diferentes relaciones entre sustancias químicas y sus posibles reacciones: diferentes valores de electronegatividad determinarán diferentes tipos de enlaces posibles. Es por ello que el concepto de electronegatividad (en adelante, EN) es uno de los conceptos más relevantes de la química a partir de la segunda mitad del siglo pasado. Se utiliza tanto para comprender la polaridad, los momentos dipolares y las diferencias de energía de los enlaces, como así también para obtener una comprensión cualitativa de los procesos químicos.

Sin embargo, una de las peculiaridades de la electronegatividad es que no puede medirse de modo directo, ya que solo puede determinarse empíricamente de un modo indirecto mediante cálculos provenientes de otras propiedades directamente medibles (como puede ser, por ejemplo, el potencial de ionización). A su vez, existen alrededor de siete modelos diferentes que fundamentan la escala de electronegatividad y que se utilizan comúnmente en la práctica química. Todos ellos, a pesar de las diferencias cualitativas (que

inmediatamente expondremos cuando analicemos tres de estos modelos) y cuantitativas (las escalas difieren numéricamente hablando), terminan ordenando los elementos del mismo modo.

En el presente trabajo analizaremos tres de estas escalas, la de Pauling, la de Mulliken y la desarrollada Allred-Rochow, con el objeto de presentar las diferencias cualitativas existentes entre ellas.

Linus Pauling en 1932 fue el primero en construir una escala de EN sobre la base de un enfoque termoquímico utilizando los calores de formación de sustancias diatómicas con enlaces covalentes. En este contexto, el autor definió la electronegatividad como “un número que representa el poder de atracción [entre los átomos] por los electrones en un enlace covalente, por medio del cual la cantidad de carácter iónico parcial de un enlace puede ser estimado” (Pauling 1950, p. 236). La escala de Pauling se enmarca en un modelo basado en el enlace covalente donde no se produce transferencia de electrones. Para construir el modelo, Pauling adoptó dos supuestos. El primero es el concepto de enlace covalente “normal” entre dos sustancias A y B : un enlace simple entre dos átomos idénticos sin ningún componente iónico. La segunda suposición se basa en el llamado postulado de aditividad, según el cual “la independencia de los enlaces en una molécula requeriría que la energía total de formación de la molécula a partir de átomos separados pudiera expresarse como la suma de términos de energía constante característicos de los diversos enlaces” (Pauling 1932, p. 3570). De este modo, la energía del enlace covalente normal entre A y B se define como el promedio de las energías correspondientes a los enlaces homopolares $A:A$ y $B:B$:

$$A:B = \frac{A:A + B:B}{2}$$

Con estos presupuestos la escala de electronegatividad se establece en función de la *diferencia* entre la energía efectiva de un enlace covalente entre A y B (calculada termodinámicamente a partir de la energía empíricamente necesaria para romper dicho enlace) y la energía del enlace covalente normal $A:B$ (calculada en forma teórica a partir del postulado de aditividad). Para Pauling, “si el postulado de aditividad es correcto, la diferencia (Δ) entre la energía de enlace real y la predicha a partir de la aditividad debe ser cero o positiva, y cuanto mayor sea el carácter iónico del enlace, mayor será el valor de Δ

[...]. Los valores de Δ suelen conocerse con mayor precisión que las propias energías de enlace porque pueden medirse directamente como calores de reacción” (Pauling 1932, p. 3572). De este modo Pauling configuró una de las primeras escalas de EN sobre la base de un modelo que preconizaba los valores de Δ . Para ello asumió que Δ es una función que describe una distancia entre la EN de los elementos, formalmente establecida como la diferencia de EN entre A y B del siguiente modo:

$$\Delta_{A:B} = (\chi_A - \chi_B)^2$$

donde χ_A y χ_B son la electronegatividad para los átomos A y B , respectivamente. En un segundo paso, adoptado la electronegatividad para el hidrógeno como elemento estándar de referencia, se estableció que

$$\chi_A - \chi_B = 0.208\Delta_{(AB)}^{1/2} (eV)$$

Como resultado de esta descripción, si se considera la información que puede obtenerse a partir del modelo matemático, se puede concluir que la electronegatividad en el modelo de Pauling está pensada como una propiedad *extrínseca*. En efecto, como subrayan Ruthenberg y Martínez González (2017), mientras A y B sean átomos diferentes, la electronegatividad no pertenece ni a A ni a B , sino a su relación mutua.

Por su parte, en 1934 Mulliken desarrolló otro método para modelizar la electronegatividad. En este caso no tomó como modelo de enlace químico los enlaces covalentes sino los enlaces iónicos, donde las uniones sí se producen a partir de la transferencia de electrones. El propio Mulliken afirmaba que “el fundamento físico de esto [la electronegatividad] se ha mantenido oscura, aunque ha sido evidente que la electronegatividad de un átomo tiene que estar relacionada de alguna manera con su afinidad electrónica o con su potencial de ionización o con ambos” (Mulliken 1934, p. 782). Mulliken define así la electronegatividad como la tensión en un átomo entre la tendencia a ganar y a perder electrones. De este modo sugirió un modelo simple e intuitivo sobre la base de un enfoque espectroscópico basado en el promedio del potencial de ionización y la afinidad electrónica de un elemento. El potencial de ionización mide la tendencia a perder electrones y se define en función de la cantidad de energía necesaria para eliminar el electrón más débilmente ligado del átomo. Por su parte, la afinidad electrónica

mide la tendencia a ganar electrones y se define en función de la cantidad de energía requerida para agregar un electrón a un átomo neutro.

El supuesto de que existe una condición de igual energía según la cual “dos átomos univalentes tienen la misma electronegatividad si la suma –o promedio– del potencial de ionización más la afinidad electrónica es la misma para cada uno” (Mulliken 1934, p. 783), habilita a que sea posible obtener los iones de los átomos separados. Consecuentemente, denominando PI el potencial de ionización y AE la afinidad electrónica, y considerando que A y B son los átomos, el principio de igual energía queda formalmente expresado como:

$$PI_A + AE_A = PI_B + AE_B$$

De este modo, obteniendo estas propiedades para los átomos separados, Mulliken define la electronegatividad del siguiente modo

$$\chi_A = \frac{1}{2}(PI_A + AE_A)$$

Dado que tanto el potencial de ionización como la afinidad electrónica son propiedades de un átomo A , el modelo de Mulliken, por tanto, permite concebir una EN “atómica” o “absoluta”, ya que se aplica a un átomo sin considerar, como lo hace el modelo de Pauling, ningún otro átomo como elemento de referencia (como el hidrógeno en el caso de Pauling). Por ello, en este modelo la EN puede considerarse como una propiedad *intrínseca* de los átomos aislados.

Por último, en 1958 Louis Allred y Eugene Rochow idearon otro modelo clásico para la electronegatividad instituido también desde un enfoque espectroscópico. Estos autores consideraron que la electronegatividad de un átomo está determinada por la fuerza de atracción nuclear efectiva y el radio covalente de un electrón. Este modelo fue el primero en introducir el concepto de “fuerza” para la cuantificación de EN. De este modo Allred y Rochow propusieron una nueva escala de electronegatividad:

$$\chi_A = Z_{eff}/r^2$$

donde Z_{eff} es la carga nuclear efectiva obtenida a partir de las reglas de Slater y r es el radio covalente. Al igual que Mulliken, aquí nuevamente la electronegatividad se define sin necesidad de recurrir a ningún elemento de referencia, es decir, es una propiedad *intrínseca* perteneciente a un átomo aislado. En efecto, como los mismos autores subrayan, “la

magnitud $Z_{eff}r^2$ representa una electronegatividad absoluta, y difiere de los valores relativos de Pauling” (Allred y Rochow 1958, p. 265).

La presentación aquí realizada de estas tres escalas de electronegatividad resulta suficiente para evaluar en qué sentido estos modelos son incompatibles. Pero previamente, para que la incompatibilidad quede propiamente establecida, resulta pertinente clarificar algunas nociones. Las nociones de propiedad “intrínseca” y “extrínseca” fueron ampliamente discutidas en el campo de la filosofía (ver Lewis 1983; Dunn 1990; Sider 1996; Marshall 2018; Plate 2018). Theodore Sider, por ejemplo, define propiedad intrínseca como aquella “que las cosas tienen en virtud de lo que ellas mismas son”, mientras que una propiedad extrínseca se define como una propiedad “que las cosas tienen en virtud de sus relaciones o falta de relaciones con otras cosas” (Sider 1996, p. 1). Esta clasificación, como casi todas, no es inmune a contraejemplos. El problema radica en que parece asociar propiedades extrínsecas con propiedades relacionales, cuando sería plausible pensar casos que demuestren que este cruce no es correcto. Por un lado, puede pensarse una propiedad relacional entre diferentes partes de una misma entidad, como por ejemplo “tener las piernas más largas que los brazos” (Marshall 2018). Este ejemplo banal mostraría que es posible que exista una propiedad relacional que resulte intrínseca por el hecho de no requerir de la participación de una entidad diferente. Complementariamente, puede pensarse un caso donde una propiedad le pertenezca a una entidad pero de un modo no intrínseco. Enunciados como “Paris pertenece a Italia” configurarían una situación donde a una entidad le pertenece algo que, en tanto que no le es propio y en tanto que pone en relación dos cosas diferentes, no puede ser intrínseco (Plate 2018). Pero existen contraejemplos más significativos: ¿son las propiedades disposicionales propiedades intrínsecas o extrínsecas?; y ¿qué podemos decir de las propiedades causales? Una entidad A causa una propiedad B en virtud de ella misma, pero dado que la causalidad es una relación ¿podemos decir que es intrínseca? Y, por último, la referencia espacial de A ¿le pertenece a ella aun cuando se defina en relación con otra coordenada?

La resolución de estas preguntas exige un análisis de tinte metafísico que considere el modo en que se individúan las entidades, la aceptación o no de mundos posibles que habilite u obture la pregunta en torno de si la propiedad de identidad (como relación que se obtiene en virtud de lo que las entidades tienen en sí mismas) es una propiedad intrínseca o

extrínseca, o si la duplicación de entidades con propiedades iguales supone o no propiedades intrínsecas (cfr. Lewis 1983; Marshall 2018). Exhorta, a su vez, a una meditación respecto de si la relación de causalidad supone o no una necesidad metafísica que permita afirmar, junto con alguna concepción específica de legalidad (cfr. Sider 1996), que las propiedades causales son en sí mismas intrínsecas, son simplemente supervenientes de propiedades básicas intrínsecas, o se definen estrictamente como propiedades relacionales (Plate 2018). Y requiere que se considere, por ejemplo, si las propiedades disposicionales pertenecen al objeto aun cuando sus efectos nunca se manifiesten, o para decirlo en otras palabras, requiere que se considere bajo qué criterios es posible “instanciar” una propiedad que nunca se manifiesta.

Todas estas legítimas disquisiciones exceden por completo los alcances de esta tesis. Sin embargo, confío que para los fines de la presente discusión es suficiente introducir ciertos considerandos que permitirán avanzar hacia los objetivos buscados sin necesidad de introducirse en tan intrincados asuntos. Se propone, en este sentido, rectificar la definición propuesta por Sider adoptando una clarificación introducida por Lewis quien, en su primera definición, no caracteriza la noción desde parámetros metafísicos sino lingüísticos (cfr. Marshall 2018). Desde esta perspectiva, “una oración, declaración o proposición que atribuye propiedades intrínsecas a algo se refiere enteramente a esa cosa; mientras que la adscripción de propiedades extrínsecas a algo no se refiere enteramente a esa cosa, aunque bien puede tratarse de un todo mayor que incluye esa cosa como parte.” (Lewis 1983, p. 197). Esta caracterización resulta prometedora en tanto que, al no asociar en la definición misma ser una propiedad extrínseca con ser una propiedad relacional, al mismo tiempo que esquivaba el primer contraejemplo introducido por Marshall (2018), anula el segundo contraejemplo presentado por Plate (2018). En relación con los otros aspectos mencionados en el párrafo anterior, como dijimos, que haya un inconveniente o no con la definición dependerá de la específica postura metafísica que se adopte.

Baste lo dicho para que tenga sentido ahora retomar los casos mencionados con el objeto de establecer un compendio comparativo entre los tres modelos explicados que pueda echar luz sobre la dificultad que presenta la noción de EN como consecuencia de la incompatibilidad. Como afirman Politzer y Murray, la confusión en torno a la imagen física de la EN es total: “Dada su importancia práctica, ha resultado irresistiblemente tentador

para muchos investigadores proponer sus propias definiciones y formulaciones de electronegatividad. Ha habido tal proliferación de estos que, ya en 1961, Iczkowski y Margrave comentaron que «existe cierta confusión en cuanto a qué imagen física corresponde al término electronegatividad» (Poltzer y Murray 2018, p. 214). Y la confusión se genera, precisamente, porque mientras que en Pauling la EN se define como una propiedad extrínseca de los átomos en tanto que la EN no le pertenece al átomo, sino que se obtiene en virtud de su relación con otro átomo; para los casos de los modelos de Mulliken y Allred-Rochow, la EN es una propiedad intrínseca de los átomos. En Mulliken la EN depende de las tendencias de cada átomo para ganar o perder electrones, y en Allred-Rochow depende de las tendencias de cada átomo para atraer electrones. En este sentido, estos modelos no son simples mecanismos de medición, sino formas contrarias de entender la magnitud física correspondiente a esta propiedad: mientras que en el modelo de Pauling la electronegatividad es una propiedad anclada en el propio enlace químico y, por lo tanto, no puede decirse que le pertenece a cada uno de los átomos que componen el enlace, en el modelo de Mulliken y Allred-Rochow es una propiedad de los átomos que intervendrán en el enlace.

En síntesis, al considerar tres de los muchos modelos existentes surgen similitudes y diferencias que atentan contra la natural comprensión del concepto. En primer lugar, y fundamentalmente, existen diferencias categoriales y diferencias conceptuales. Si se compara el modelo de Pauling con el modelo de Allred-Rochow, encontramos que hay una coincidencia conceptual con respecto al significado de EN, pero una diferencia categorial en relación con el tipo de propiedad que EN representa en cada caso. Ambos conciben la EN en la misma dirección: Pauling define EN como un poder de atracción de los electrones y Allred y Rochow como la fuerza entre la atracción nuclear efectiva y el radio covalente de un electrón. En efecto, Allred y Rochow explícitamente declaran que el uso de esta fuerza para evaluar la electronegatividad es totalmente consistente con la definición original de Pauling ya que precisamente “la fuerza electrostática mide la tendencia para atraer electrones” (Allred y Rochow 1958, p. 268). Sin embargo, categorialmente el modo en que entienden la EN difiere: mientras que en Pauling EN es una propiedad molecular, extrínseca, en Allred y Rochow es una propiedad atómica, intrínseca. Pero, si por el contrario, se comparan las escalas de Mulliken y Allred y Rochow, el escenario se invierte.

Ambos, en contraposición a Pauling, coinciden en relación con el tipo de propiedad que representa la EN. Sin embargo difieren en relación con el modo en que la conceptualizan: “la fuerza electrostática mide la tendencia a atraer electrones, mientras que el potencial electrostático mide el trabajo necesario para la separación completa de las cargas. Se observa que la escala de electronegatividad de Mulliken, basada en el promedio de la afinidad electrónica y los potenciales de ionización de los átomos, es una medida de potenciales y, por lo tanto, no se espera que sea paralela a la escala de fuerza electrostática.” (Allred y Rochow 1958, p. 268). Por último, un aspecto importante a considerar y que más adelante retomaremos cuando evaluemos la propuesta perspectival de Massimi, es que cada modelo confiere diferentes unidades de medida: “Existe cierta confusión en cuanto a qué imagen física corresponde al término electronegatividad. Una manifestación de esto fue la considerable inconsistencia incluso con respecto a sus unidades, que incluían energía^{1/2}, fuerza, potencial y fuerza/distancia” (Poltzer et al. 2001, p. 69).

Para terminar con la presentación de este primer caso, es de suma importancia advertir que esta incompatibilidad acerca de la electronegatividad no resulta como consecuencia de una exagerada exégesis filosófica que, producto del desvarío, identifica y discute propiedades irrelevantes, sino que es una preocupación que se encuentra en el corazón del debate sobre la electronegatividad en química. En efecto, el hecho que los modelos sean parciales y que, como consecuencia de ello, no resulte lícito extrapolar todas las propiedades del modelo hacia el sistema, no parece ser un obstáculo epistémico en el caso aquí presentado pues, como la misma comunidad manifiesta, las características disímiles aquí reveladas son advertidas como razones del desconcierto existente respecto de cómo entender la electronegatividad. En un artículo escrito por Allen y Knight (1992) titulado “Electronegativity: why has it been so difficult to define?”, se establece que “todos los textos de química de primer año, todos los textos de inorgánica, muchos de fisicoquímica y la mayoría de orgánica, le dedican una gran atención, explícita o implícitamente. Es claramente una de las ideas centrales de la química. Sin embargo, nuestra aparente incapacidad para definirlo de manera única y la imposibilidad de medirlo directamente en una molécula o sólido ha causado frustración y decepción en toda la comunidad química. Algunos llevan su desánimo al extremo al afirmar que, en principio, no se puede definir de manera única o precisa y la sospecha de que esto podría ser así ha alejado a la mayoría de

los químicos del intento.” (Allen y Knight 1992, p. 313). Del mismo modo, en Mulliken, aun cuando en su propuesta sobre la electronegatividad puede leerse un intento para no sucumbir al desánimo generalizado, acepta que “no sabemos si la electronegatividad puede ser un concepto capaz de una definición cuantitativa exacta” (Mulliken 1934, p. 782). Asimismo, Reed (1981) considera que “la distinción entre electronegatividad como propiedad de un átomo aislado y la propiedad de un átomo en un entorno molecular es fundamental para la comprensión y el uso de esta cantidad” (Reed 1981, p. 148.). Por último, lo mismo destacan Politzer y Murray (2018) cuando expresan que “estas energías en términos de energías de ionización y afinidades electrónicas llevó a Mulliken a sugerir que la cantidad debería interpretarse como la ‘electronegatividad absoluta’ de un átomo (a diferencia de las electronegatividades relativas de Pauling)” (Politzer y Murray 2018, p. 215) (citas similares pueden encontrarse en Pritchard y Skinner 1955, Politzer et al. 2011 y Qteish 2019).

3.2.b Enlace químicos: Enlace de Valencia y Orbital Molecular

El concepto de enlace químico, que refiere al fenómeno que mantiene unidos y estabilizados los componentes de las moléculas, constituye un concepto fundamental en química estructural debido a que, al determinar la estructura de las moléculas a partir de los enlaces atómicos, organiza el conocimiento acerca de las sustancias. La estructura molecular de cada sustancia se representa mediante una fórmula estructural, es decir, una representación gráfica de la disposición geométrica de los átomos en las moléculas y la forma en que se relacionan a través de enlaces químicos. El uso del enlace químico ha sido muy fructífero para abordar diferentes problemas, especialmente en química orgánica, donde las fórmulas estructurales construidas, basadas en enlaces químicos y la tetravalencia del carbono, han permitido desarrollar explicaciones para una gran cantidad de conocimiento experimental y predecir la síntesis de compuestos orgánicos.

La primera teoría sobre el enlace químico basada en electrones fue desarrollada por Gilbert N. Lewis en 1916, en el marco de la química estructural (para el desarrollo histórico del concepto de enlace químico, cfr. Sutcliffe 1996). Según Lewis, los núcleos atómicos tienden a estar rodeados por capas cúbicas concéntricas de ocho electrones (regla del octeto), una configuración electrónica que otorga a las moléculas una estabilidad análoga a

la de los gases nobles del grupo VIII de la Tabla Periódica. Sobre esta base, Lewis describiría el enlace químico como un par de electrones compartidos por dos núcleos atómicos para completar ocho electrones en la capa exterior o capa de valencia de los átomos involucrados. Las diferentes formas en que los átomos comparten electrones explican el carácter polar o iónico de los compuestos químicos.

Ante las dificultades que exhibía esta teoría del enlace químico para dar cuenta de los enlaces homopolares, surge la química cuántica como un nuevo ámbito científico que intentará explicar los resultados de la química estructural en términos de la mecánica cuántica (Woody 2000). Para ello se utilizó la ecuación cuántica del estado estacionario, conocida en el campo de la química como ecuación de Schrödinger independiente del tiempo:

$$H\psi = E\psi$$

donde ψ es la función de onda del sistema, H es su hamiltoniano y E es su energía. Sin embargo, esta ecuación solo proporcionó a la química el formalismo de la mecánica cuántica, ya que no preveía instrucciones ni resoluciones analíticas para el modelado de las moléculas (cfr. Woody 2000). De hecho, aunque la ecuación de Schrödinger independiente del tiempo fue y sigue siendo utilizada de diferentes maneras en el tratamiento de problemas químicos, no puede resolverse analíticamente de forma cerrada para sistemas multielectrónicos. Es decir, sus soluciones solo se pueden obtener de forma aproximada, utilizando técnicas variacionales o perturbacionales (cfr. McWeeny 1973). Las técnicas de aproximación variacional y perturbacional utilizadas para resolver la ecuación de Schrödinger independiente del tiempo requieren la postulación de ciertas funciones de onda de prueba, sobre las cuales se aplica el análisis variacional o perturbacional. La elección de tales funciones de onda tiene una influencia directa en la calidad del resultado. Precisamente por ello su selección es una de las decisiones más importantes que deben tomar los químicos cuánticos. Pero, a su vez, las propias técnicas aproximadas imponen pocas restricciones externas sobre la forma de estas funciones de onda de prueba. En consecuencia, cualquier tratamiento es, en efecto, un procedimiento de búsqueda que comienza con muchas posibilidades (cfr. Woody 2012).

Es precisamente en este contexto que se inscriben los modelos de Enlace de Valencia (en adelante, EV) y Orbital Molecular (en adelante, OM)³⁷ como posibles enfoques para dar cuenta de enlaces homopolares. En efecto, EV y OM se desarrollaron como dos diferentes aproximaciones para encontrar tales funciones de onda de prueba para sistemas moleculares. Cada uno de estos métodos contiene un algoritmo particular para generar funciones de onda, y la justificación para elegir ese algoritmo se basa en suposiciones conceptuales y cualitativas sobre qué forma debe tener la función de onda molecular. Para EV, las moléculas están compuestas por sus átomos constituyentes, en los cuales los electrones tienen una posición localizada, es decir, están asociados a un núcleo particular. Por lo tanto, las funciones de onda deberían reflejar esta característica: los pares de electrones ocupan orbitales de enlace entre dos átomos dentro de la molécula. Por otro lado, OM concibe el sistema molecular como una nueva entidad en la que los átomos constituyentes ya no pueden ser identificados y, por lo tanto, los electrones ya no pueden ubicarse alrededor de un solo núcleo. En otras palabras, los electrones están deslocalizados en toda la molécula, por lo que las funciones de onda, en general, construyen orbitales moleculares que asocian los mismos electrones con más de un núcleo. Pero analicemos detenidamente el modo en que se configuraron sendas funciones de ondas para entender el motivo de estas diferencias conceptuales entre EV y OM.

3.2.b.1 Modelo del Enlace de Valencia

El enfoque EV fue formulado por Walter Heitler y Fritz London (1927) a fines de la década de 1920 y luego fue completado por Linus Pauling en la década de 1930 (Pauling y Wilson 1935). Este enfoque no se aparta radicalmente de la química estructural ya que el compuesto molecular se sigue describiendo como un conjunto de átomos donde los electrones son localizables. Por lo tanto, EV pasó a considerarse como una herramienta que, siguiendo la manera estructural de pensar los problemas químicos, utilizaba el formalismo de la mecánica cuántica (Park 1999; Hendry 2006).

Los partidarios de este enfoque utilizan una técnica perturbacional para resolver la

³⁷ Si bien tales enfoques suelen ser denominados ‘teorías’, es más correcto concebirlos en términos de modelos debido a que ninguno de los dos supone un marco teórico propio y autónomo (ver Lombardi y Martínez González 2012). Es la dependencia de ambos enfoques respecto de la mecánica cuántica lo que impide que sean considerados como constructos teóricos diferentes.

ecuación de Schrödinger independiente del tiempo, a partir de una función de onda electrónica construida para representar la molécula de hidrógeno. Este trabajo fue el primero en explicar el enlace químico en términos cuánticos gracias a que introdujo el concepto de espín y el principio de exclusión de Pauli. En efecto, estas funciones del estado fundamental se combinaron con una función de espín para obtener una función antisimétrica antes del intercambio de electrones.

Para encontrar tal función de onda, en EV se parte de considerar el sistema como compuesto por dos núcleos completamente separados y dos electrones que se van acercando entre sí. Si se considera que a y b son los núcleos y 1 y 2 son los electrones, entonces, para diseñar el modelo construyen una función de onda total para el primer estado posible en el que el electrón 1 pertenece al átomo a y el electrón 2 pertenece al átomo b:



Con esta imagen, la primera función de onda para el primer estado posible se configura como:

$$\Psi_{total1} = C_1 \Psi_a(1) \Psi_b(2)$$

Paralelamente se construye una segunda función de onda para el segundo estado posible donde el electrón 1 pertenece al átomo b y el electrón 2 al átomo a:



dando como resultado la segunda función de onda configurada como:

$$\Psi_{total2} = C_2 \Psi_a(2) \Psi_b(1)$$

Dado que estas dos posibilidades son dos descripciones igualmente admisibles, la función de onda final de EV se obtiene mediante la superposición de estos dos estados posibles:

$$\Psi_{EV} = \Psi_a(1) \Psi_b(2) \pm \Psi_a(2) \Psi_b(1)$$

De esta forma, desde esta perspectiva un enlace covalente homolopolar se constituye por un solapamiento de orbitales entre dos núcleos con sus respectivos electrones.

3.2.b.2 Modelo del Orbital Molecular (OM)

Contemporáneamente al surgimiento de EV, OM aparece como enfoque alternativo principalmente en los trabajos de Friedrich Hund (1929) y Robert Mulliken (1932). El enfoque OM presupone una especie de holismo molecular, implicando, con ello, una nueva entidad conceptual donde los electrones no están localizados en orbitales atómicos sino en orbitales moleculares deslocalizados alrededor de la molécula entera.

OM surgió como un enfoque alternativo para diseñar funciones de onda con el fin de resolver la misma ecuación de Schrödinger para una molécula de Hidrógeno. Para ello este enfoque utiliza dos supuestos fundamentales. El primero de ellos, denominado “campo autoconsistente”, considera que, para cualquier electrón dado, su distribución de carga promedio es la misma que se obtiene cuando se resuelve la ecuación de Schrödinger con un campo potencial debido a las cargas del núcleo y el promedio de las cargas de los demás electrones. Para obtener la función de onda de un electrón se requiere asumir la función de onda de los otros electrones, y para encontrarla se debe hacer una segunda suposición: cuando un electrón está cerca de un núcleo particular en un sistema molecular, todas las fuerzas que actúan sobre él están determinadas por ese núcleo y los electrones próximos a él. Por tanto, la función de onda de ese electrón es muy similar a la función de onda del átomo aislado. Para representar estas dos características básicas, la forma más adecuada es una combinación lineal de orbitales atómicos para cada electrón (cfr. Lennard-Jones 1929). Esta función de onda se denomina ‘orbital molecular’, y por este motivo este modelo lleva su nombre.

En este modelo se construyen, entonces, dos funciones de onda diferentes. La primera para el electrón 1 perteneciendo a ambos átomos a y b; y la segunda para cuando el electrón 2 pertenece a ambos átomos a y b:

$$\Psi_{OM} = \Psi(1)\Psi(2) = [\Psi_a(1) + \Psi_b(1)][\Psi_a(2) + \Psi_b(2)]$$

Como consecuencia del producto de estas dos funciones de onda se obtiene la función de onda total de OM, compuesta por la función de enlace de valencia más términos iónicos donde los dos electrones están asociados a un mismo núcleo:

$$\Psi_{OM} = \Psi_a(1)\Psi_b(2) + \Psi_a(2)\Psi_b(1) + \Psi_a(1)\Psi_a(2) + \Psi_b(1)\Psi_b(2)$$

Desde esta perspectiva se obtiene una imagen completamente nueva: una molécula es un sistema de núcleos y electrones deslocalizados en torno de una nueva entidad: los orbitales moleculares. La novedad y peculiaridad de esta imagen resulta reflejada en la obra de Gavroglu y Simoes (2012b), *Neither Physics nor Chemistry*, donde se afirma que Mulliken estaba haciendo una sugerencia muy audaz al prescindir por completo de la teoría clásica de valencia, a la que llamó el “punto de vista atómico”, y adoptar (en contraposición al punto de vista tradicional donde la molécula se percibe simplemente como un compuesto de átomos) un nuevo “punto de vista molecular” donde la molécula se constituye como un entidad distinta. En este sentido, los autores afirman que Mulliken “no quería comprometerse con la visión convencional según la cual «los átomos siguen siendo átomos cuando han formado moléculas». Haciéndose eco de Gertrude Stein preferiría afirmar que «una molécula es una molécula es una molécula»” (Gavroglu y Simoes 2012b, p. 86).

Con lo dicho es suficiente para considerar a los enfoques EV y OM como modelos incompatibles en cuanto a cómo describen la estructura interna de las moléculas (ver también Lombardi y Martínez González 2012; Seifert 2022). Para el enfoque EV, la molécula es una entidad compuesta, donde es posible continuar identificando los átomos componentes y, por tanto, los electrones pertenecen a cada átomo particular. Para el enfoque OM, la molécula, como molécula, es un todo que no puede analizarse en términos de su componentes atómicos. Aquí los electrones ya no pueden pensarse como pertenecientes a un átomo particular ya que los átomos pierden su identidad al integrarse en la molécula. En efecto, a diferencia de la descripción dada por EV, en el enfoque OM un solo electrón podría describir la función de onda de un sistema molecular. Además, esta descripción permite asociar un mismo electrón a dos núcleos atómicos diferentes, lo que sería inaceptable desde la perspectiva de EV.

Es interesante resaltar la diferencia entre los dos modelos desde una perspectiva diferente. El modelo OM trata a la molécula de manera análoga a cómo se tratan los átomos individuales. Mientras que en EV los electrones ocupan orbitales atómicos, en OM los electrones ocupan orbitales moleculares. Mientras que en EV los orbitales atómicos se combinan mediante el producto de las funciones de onda que los representan, en OM son los orbitales moleculares los que se combinan mediante el producto de las funciones de

onda que los representan. Por lo tanto, no se trata de teorías que proporcionan el mismo estado cuántico molecular pero expresado en diferentes bases, sino efectivamente dos diferentes formas de concebir la molécula; formas que dan lugar a diferentes estados desde un punto de vista cuántico.

Por último, resulta relevante resaltar que estas dificultades tampoco son producto simplemente de disquisiciones o preocupaciones filosóficas distantes de la práctica efectiva de la ciencia. Por el contrario, también los químicos son conscientes de la ambigüedad existente en torno a este concepto: “estudios posteriores demostraron que la naturaleza del enlace químico es mucho más complicada de lo que se pensaba inicialmente y que la conexión entre el modelo de Lewis y la naturaleza física del enlace químico es bastante compleja” (Zhao et al. 2019, p. 8782).

3.3 La noción de incompatibilidad

La incompatibilidad, clásicamente entendida, es una propiedad lógica que se aplica a los enunciados cuando estos afirman conjuntamente sentencias contrarias. En términos semánticos supone que dos proposiciones son incompatibles si y solo si es imposible que ambas sean verdaderas simultáneamente. Ahora bien, cuando la incompatibilidad se extrapola del ámbito estrictamente lógico al ámbito epistemológico, no solo no resulta tan diáfana establecida (Vickers 2008), sino que termina manifestándose en una pluralidad de modos, cada una de los cuales, como veremos en estos dos últimos capítulos, exigirá diferentes estrategias argumentativas (Frisch 2014). En efecto, la incompatibilidad puede decirse de muchas maneras en función de que resulte o bien como producto de una inconsistencia diacrónica o sincrónica entre dos teorías científicas; o bien como producto de que una teoría científica, o incluso un modelo, contenga asunciones contradictorias al interior de su cuerpo teórico; o bien como producto de la existencia de múltiples e incompatibles modelos científicos. En otras palabras, la incompatibilidad puede ser caracterizada en términos internos o externos en función de si surge a partir de los principios y del propio contenido teórico relevante de una teoría científica o modelo, o como consecuencia de su relación con otra teoría o modelo (Ghins 2014). La presunta utilidad de estas especificaciones es que no todas estas situaciones generarán el mismo tipo de preocupación, ni requerirán las mismas estrategias para su solución. Mientras que las

incompatibilidades entre teoría sucesivas, tratadas profusamente a partir de las lecturas kuhnianas, no despiertan en la actualidad demasiada atención, la incompatibilidad entre teorías contemporáneas, como pueden ser la física relativista y la física cuántica, puede generar un contratiempo en cuanto que proponen o bien un tipo de pluralismo epistémico u ontológico, o bien una suerte de reduccionismo. Por otro lado, una inconsistencia al interior de un modelo o teoría generará lo que comúnmente suele denominarse, en el contexto de la lógica clásica, una explosión lógica que implique que cualquier cosa pueda seguirse de la contradicción y que, consecuentemente, o bien el modelo devenga trivialmente adecuado, o bien que haya que establecer algún criterio para determinar cuál de los principios inconsistentes involucrados en el modelo serán objeto de creencia, es decir, cuál de ellas se constituye como el contenido real de la teoría científica (diferentes apreciaciones sobre estas distintas formas de inconsistencia puede verse en Hettema 1995; Vickers 2008; Frisch 2014; Ghins 2014; Saatsi 2014). Por último, como fue señalado anteriormente, la existencia de modelos incompatibles impide determinar o interpretar el modo en que el sistema se comporta. Para solventar este infortunio la estrategia suele ser, como veremos, apelar al carácter intrínsecamente parcial de los modelos. De este modo, tal parcialidad, radicada en los diferentes factores intervinientes en el proceso de modelado, habilitaría a subsanar la aparente herida instituida desde la incompatibilidad (estrategias de este tipo suelen tomar autores como da Costa y French 2000, 2003; Bailer-Jones 2003; Giere 2006b; Brown 2009; Frisch 2014).

Respecto de todas estas formas en que la incompatibilidad puede manifestarse, son, sin embargo, las últimas dos acepciones las que resultarán objeto de análisis en esta investigación. En este capítulo y en el siguiente nos abocaremos a la última de ellas y en el capítulo 5 estudiaremos la restante. El objetivo, como ya se ha afirmado, es demostrar que las estrategias disuasorias que se utilizan para minimizar y/o desprestigiar la incompatibilidad con la finalidad de evitar la salida instrumentalista, resultan infructíferas.

3.3.a La incompatibilidad en los modelos científicos

Es bien sabido que la práctica científica actual se nutre de una multiplicidad de modelos para abordar un mismo fenómeno de estudio. Si, junto con esto, se atiende el cambio instituido a fines de los 80 por la concepción semántica, según la cual el conocimiento

científico está cifrado principalmente a través de la producción de modelos, se podría concluir que el ideario unificacionista que pretendía brindar una imagen única y consistente del mundo parece resquebrajarse. Desde estas líneas de pensamiento es que autores como Nancy Cartwright (1994a, 1994b, 1999) plantean la imagen de un mundo fragmentado, compuesto por retazos no necesariamente conexos entre sí. Paralelamente, como veremos inmediatamente, el perspectivismo inaugurado por Giere (2006a) y complementado por Massimi (2018a, 2022) sostiene, como consecuencia de tal multiplicidad, la necesidad de pensar un tipo de conocimiento situado que obture cualquier punto de vista privilegiado que pretenda instituirse como una visión dada desde un “no lugar”, reparando que las afirmaciones científicas y sus condiciones de verdad dependen de las perspectivas de análisis. En este sentido, Giere sostiene que “esta gran complejidad implica, creo, que es imposible obtener una imagen global adecuada de la ciencia desde una perspectiva disciplinaria. Las diferentes perspectivas resaltan diferentes aspectos mientras ignoran a los demás. Las únicas imágenes generales adecuadas serán los collages de imágenes desde varias perspectivas.” (Giere 1999, p. 28).

Sin embargo, lo que, con la entrada del nuevo siglo, en un principio comenzó (producto de la revalorización del papel de los modelos en la producción del conocimiento científico) como un reconocimiento de la existencia de una multiplicidad de modelos científicos que ponían en jaque el ideal unificacionista de la ciencia en favor de una concepción fragmentada, anti-fundamentalista y anti-unificacionista del quehacer científico y de una imagen de mundo *veteada*, construida mediante *retazos* (Cartwright 1999), devino, con el correr de los años, en la proliferación de investigadores que fueron identificando en los distintos campos científicos un sinnúmero de modelos incompatibles (Morrison 2011, 2015; Weisberg 2006; Green 2013; Betz 2009; Friend 2017).

Este fervor por los modelos incompatibles ha pretendido ser provisoriamente apaciguado como consecuencia de dos factores. En primer lugar, como veremos, se denuncia que la incompatibilidad puede ser disuelta, es decir que deviene trivial o simplemente falsa debido al carácter netamente pragmático y parcial del acto de la representación y la modelización. Desde esta perspectiva, la mentada incompatibilidad solo puede ser consecuencia de una incomprensión de la naturaleza misma del modelado y una sobrestimación de las propiedades que son identificadas y consideradas en estos. En segundo lugar, se denuncia

también que esa incomprensión respecto de la naturaleza de los modelos es hija de un error categorial.

Comenzando por la última estrategia, claramente elusiva y poco efectiva, el error categorial surgiría porque no se estaría tomando en cuenta que el ser incompatible es una propiedad lógica que se adscribe a enunciados. Como dijimos, la incompatibilidad se predica de dos enunciados que afirman cosas contrarias respecto de lo mismo, al modo “A y no A”. Sin embargo, como se sabe, ni el modelo (por ser un objeto) ni la representación (por ser una actividad) son entidades lingüísticas. El modelo es un objeto abstracto que está en lugar de otra cosa para ciertos fines específicos dado por la comunidad científica. Como afirma Giere: “estrictamente hablando, no tiene sentido llamar verdadero o falso a un modelo. (...) es aceptable como una forma ordinaria de hablar, pero hay que tener cuidado. Decir que un modelo es «verdadero de» un sistema real particular en el mundo es decir nada más que «se ajusta» a ese sistema o «se aplica» a ese sistema.” (Giere 2006a, pp. 64-65) Consecuentemente, ¿en qué sentido dos objetos (como los modelos) pueden ser incompatibles? Esta estrategia a mi entender solamente puede dilatar el problema, pero no resolverlo. Si bien representar no es describir y por lo tanto no habría que confundir ambas acciones, el proceso de representación trae aparejado algún tipo de descripción. Para expresarlo en términos de Contessa, podríamos decir que “el contenido representacional de una representación epistémica es el conjunto de proposiciones que es válido inferir del vehículo” (Contessa 2007, p. 32). En este sentido, cuando un modelo representa un sistema, entonces brinda cierta información sobre él (Bolinska 2013). Esta información se traduce, o puede traducirse, bajo la forma de enunciados que describen el sistema de un determinado modo, configurando así cierto contenido representacional. Por lo tanto, los modelos, si bien no son en sí mismos incompatibles, sí lo son derivativamente. La representación no sería meramente aquello que está en lugar de otra cosa, no es meramente un signo, sino que es aquello que, estando en lugar de otra cosa, permite extraer cierta información gracias a la cual podremos generar una imagen parcial de aquello que sustituye.

La otra estrategia, mucho más seria que la primera, es diluir el problema, pero no aduciendo que es imposible adscribir la propiedad de incompatibilidad a los modelos, sino negando la existencia misma de tal incompatibilidad. Si se considera que la representación depende del uso que los científicos quieran hacer del modelo, y se adopta la máxima

pragmatista instituida por Giere de acuerdo con la cual “un agente C usa un modelo S para representar un sistema T con un propósito X”, queda en evidencia que la capacidad representativa en tanto actividad está supedita al propósito del científico. Siendo así, se afirma que las supuestas incompatibilidades no pueden sustentarse seriamente, ya que lo que en realidad sucede es que, en función de los propósitos de la investigación, se construyen modelos disímiles que rescatan diferentes perspectivas privilegiadas. Bajo estas premisas, por ejemplo, Giere pretende dar un salto de página argumentando mediante el siguiente ejemplo: mientras que el modelo molecular que concibe el agua como una colección de entidades se usa para estudiar la difusión o el movimiento browniano, el modelo que concibe al agua como un fluido se usa para estudiar el modo que el agua fluye a través de las tuberías. De este modo, alega que “emplear una pluralidad de perspectivas tiene una sólida justificación pragmática. Hay diferentes problemas por resolver.” (Giere 2006b, p. 34). Es decir, según algunos autores, para que haya incompatibilidad no solo el sistema o el aspecto que se destaca del sistema, sino también el propósito por el cual se instituye el modelo debe coincidir. En forma similar, como salvoconducto a la situación planteada, Kellert, Longino y Waters (2006) abrazan directamente un pluralismo que permite multiplicar la realidad estudiada y disolver en dicha pluralidad la incompatibilidad. Estos autores apelan a casos de estudio donde se evidencia que el carácter parcial y múltiple de las representaciones científicas se debe precisamente a una diversidad de factores causales que no pueden ser integrados en un único modelo. Para tales fines se aferran a la propuesta perspectivista de Giere, quien, apelando a una analogía relativa al modo en que el ojo humano percibe el color (Giere 2006a), afirma que se deben considerar los aspectos psicológicos acerca de la percepción humana como un modo para legitimar tal pluralidad. Kellert, Longino y Waters consideran que el perspectivismo de Giere puede instituirse como una posible vía de escape para evitar las acusaciones de incompatibilidad, afirmando que la multiplicidad de formas en las que pueden analizarse las causas hace imposible un análisis unificador y simultáneo. Complementariamente, Fisher adiciona al perspectivismo teórico un perspectivismo de tinte instrumental, aduciendo que también los instrumentos forman parte del marco condicionante del objeto de estudio y que “la representación en química puede ser instrumentalmente selectiva: lo que se representa

depende de nuestra base tecnológica, así como de las teorías, las habilidades y nuestros intereses” (Fisher 2017, p. 21).

Sin lugar a dudas esta segunda línea de investigación es y debe ser atendible. En parte el presente trabajo abordará en detalle los casos propuestos, intentando elucidar, ante la situación planteada por los modelos incompatibles, las diferentes opciones filosóficas disponibles. Para comenzar con esta tarea, en la Sección 3.4 evaluaremos más detenidamente la propuesta perspectivista para determinar los caracteres de la incompatibilidad que deben cumplirse atendiendo a las restricciones y matices que el perspectivismo impone. En la Sección 3.5 explicaremos por qué, atendiendo las restricciones impuestas por el perspectivismo, esta posición filosófica no se constituye como una opción viable para dar cuenta de los modelos incompatibles presentados en la Sección 3.2.

3.4 El perspectivismo

El perspectivismo se sitúa como una de las múltiples formas de realismo surgidas en la filosofía contemporánea que intentan mediar entre el realismo metafísico y el antirrealismo. A diferencia del realismo estructural (Ladyman 1998, 2011; French y Ladyman 2003; Ladyman y Ross 2007), el semirrealismo (Chakravartty 1998), el realismo de entidades (Hacking 1983) o el realismo selectivo (Ghins 2014), el perspectivismo inaugurado por Giere, y luego continuado por autores como Massimi (2018a, 2018b, 2022), o Kellert, Longino and Waters (2006), se caracteriza por edificar la perspectiva como instancia primigenia, única y fundamental del conocimiento científico. En términos generales, actualmente el perspectivismo podría definirse como nucleando a todas aquellas posiciones que, de una forma u otra, enfatizan el carácter irreductiblemente local, parcial y situado del conocimiento científico. El carácter netamente situado del conocimiento no radica fundamentalmente en que esté históricamente situado, sino, por sobre todas las cosas, en que se instituye como un producto inevitable de las diferentes técnicas experimentales y los distintos principios teóricos mediante los cuales se van configurando las representaciones científicas.

Ahora bien, así caracterizado el perspectivismo resulta obvio y, por lo tanto, irrelevante (Chakravartty 2010, 2017). Si el perspectivismo solo afirmara que el acto de la observación

se realiza siempre desde una perspectiva, nada significativamente novedoso estaría instituyendo, pues el hecho de que diferentes perspectivas pueden generar diferentes (e incluso aparentemente incompatibles) representaciones parece una verdad trivial. Una mesa puede ser observada como cuadrada desde una perspectiva cercana a la mesa y como un círculo desde otro punto de vista (solo se requiere que el observador tome una distancia considerable del objeto en cuestión). Semejantes estados de cosas no generan desconcierto ni incompatibilidad alguna, pues, aun cuando por razones de tinte pragmáticos en función de algún propósito secundario pueda ser conveniente observar la mesa desde una perspectiva lejana, considerándola así como un punto circular, no resulta razonable afirmar que la mesa es circular y cuadrada: no solo existe un punto de vista privilegiado, sino métodos empíricos y mediciones independientes para establecer la cuadratura de la mesa y la existencia de ángulos rectos. En este sentido, como afirma Chakravartty “en los casos en que los hechos sin perspectiva respaldan hechos con perspectiva, el perspectivismo es un lugar común y filosóficamente no controvertido” (Chakravartty 2010b, p. 406). Es decir, si el perspectivismo solo afirmara que respecto de un target existen diferentes representaciones, cada una de las cuales codifica diferentes rasgos o características en función de la relación indexical entre el observador y lo observado, entonces sería una tesis inocente y trivial (Votsis 2012).

Pero el perspectivismo pretende afirmar algo más: extendiendo la metáfora relacional respecto del modo en que se produce el color de los objetos a todo el ámbito del conocimiento científico, y asumiendo la propuesta kuhniiana³⁸ bajo el módulo de que “las afirmaciones de verdad son siempre relativas a una perspectiva” (Giere 2006a, p. 81), el perspectivismo asevera que no solo lo que se observa está supeditado al punto de vista del observador, sino que la perspectiva es todo lo que hay. Y esto es así porque el fenómeno situacional de la representación afecta el contenido de la representación misma (Massimi 2022). Solo así el perspectivismo puede instituirse como un oponente del realismo metafísico porque niega la posibilidad de que exista un punto de vista privilegiado equivalente al “Ojo de Dios” (Putnam 1981); niega la posibilidad de que exista una descripción única, completa e independiente del sujeto cognoscente; reacciona contra la

³⁸ Esto no es algo aceptado por todos los perspectivistas. Massimi (2018c), precisamente ante la amenaza acechante del relativismo, cuestiona el hecho de fundar el perspectivismo sobre bases kuhnianas.

tesis que afirma que es posible conocer desde un no lugar la naturaleza objetiva del mundo; y aboga por un tipo de realismo que resulte convergente con la imposibilidad de que haya una perspectiva desde el “no lugar”. Pero esto no significa, y he aquí su peculiaridad, que el perspectivismo sea una postura metafísica que considera que no hay, metafísicamente hablando, hechos no perspectivales; hechos indeterminados susceptibles de ser maleados en función del observador. Por el contrario, el perspectivismo se instituye principalmente como una visión *epistémica* sobre la naturaleza del conocimiento científico: “el perspectivismo es ante todo una visión epistémica sobre la naturaleza de nuestro conocimiento científico. No pretende ser una visión metafísica acerca de que los hechos científicos son perspectivales o que los tipos naturales son relativos a las perspectivas científicas.” (Massimi 2018a, p. 164). Para el perspectivismo, incluso la verdad es una verdad contextualizada, dependiente de los esquemas de representación que son siempre parciales e ideales producto del hecho de que están supeditados a las técnicas experimentales, a los principios teóricos y a los propósitos de la investigación intrínsecos al acto de la modelización.

Según Massimi (2018c), si quisiéramos desenredar la máxima perspectivista desde su concepción realista se debería asumir, conjuntamente, una tesis epistémica, semántica y metafísica. El perspectivismo coincide con el realismo en que existe una realidad independiente que es objeto de conocimiento, acepta que el lenguaje hay que interpretarlo literalmente y asume que aceptar una teoría es creer que es verdadera o aproximadamente verdadera. Pero se aleja del realismo científico tradicional porque asume una *humildad epistémica* según la cual no hay puntos de vista privilegiados, ya que la realidad se observa siempre, indefectiblemente, desde una perspectiva. Paralelamente también se aleja de aquellos pluralistas de tinte ontológico que, como consecuencia de la humildad epistémica, suponen que el objeto de conocimiento es un objeto constituido en función de un esquema conceptual (Lombardi y Perez Ransanz 2014). Desde la posición perspectivista, el pluralismo no implica una pluralidad de mundos constituidos³⁹, sino que es fruto del carácter parcial y múltiple de las representaciones científicas; de una diversidad de factores causales que no pueden ser integrados en un único modelo. En este sentido, el límite epistémico

³⁹ En efecto, Giere en el texto *Perspectival Pluralism* afirma que “pocos de los que abogan por un pluralismo de perspectivas presuponen una pluralidad de mundos. Las perspectivas en cuestión normalmente se supone que son diferentes perspectivas sobre un solo mundo” (Giere 2006b, p. 35).

remitiría a que cada modelo solo puede representar verídicamente algunas partes o porciones del mundo que se destacan en función de los condicionamientos impuestos por las perspectivas (cfr. Giere 2006b; Massimi 2018a, 2018c, 2022).

En parte, el perspectivismo pretende establecer una tensa y no siempre feliz relación entre estados de cosas reales que son descriptas por enunciados cuyos vales de verdad son siempre contexto dependientes: “creo que es mucho mejor reafirmar el principio metodológico de que solo hay un mundo en el que todos vivimos. Dadas nuestras diferentes naturalezas biológicas, interactuamos naturalmente con diferentes aspectos del mundo. En este sentido, lo vemos desde diferentes perspectivas. Pero deberíamos considerarlos a todos como perspectivas de un solo mundo.” (Giere 2006a, p. 35)⁴⁰.

3.4.a El perspectivismo y los modelos incompatibles

La convivencia entre el perspectivismo y los modelos incompatibles ha pretendido ser, pero no ha resultado, natural, fértil ni fructífera. La conflictividad en relación con los modelos incompatibles emerge a partir dos polos independientes aunque, en algún sentido, complementarios. Autores como Chakravartty (2010b, 2017) y Votsis (2012) interpelan al perspectivismo porque consideran que no puede conciliar significativa y coherentemente el perspectivismo con el realismo. Por otro lado, Morrison (2011, 2015) y Frigg (2022) advierten que el inconveniente no radica solamente en evaluar la compatibilidad entre realismo y perspectivismo, sino en que, desde el perspectivismo, no se puede ofrecer una respuesta coherente al problema en torno con los modelos incompatibles.

En la presente tesis se pretenderá abonar la segunda línea de investigación iniciada por Morrison y continuada por Frigg, advirtiendo que el perspectivismo no puede constituirse como una perspectiva representacionista satisfactoria para dar cuenta de los modelos incompatibles. Sin embargo, en primer lugar recordaremos sucintamente los reparos argumentativos esgrimidos por Chakravartty y Votsis simplemente con el afán de poner de manifiesto las dificultades que acarrea la existencia de los modelos incompatibles para la postura perspectivista.

⁴⁰ En Giere (2006a, 2006b) el precepto unificacionista del mundo no debe interpretarse como un principio metafísico, sino que debe reformularse como una máxima metodológica. La pregunta no sería tanto si la proposición del principio es verdadera o falsa, es decir, si el mundo es efectivamente uno, sino si seguir esta máxima promueve el desarrollo científico.

En un apartado titulado “A trilemma for perspectivism: irrelevant; unstable; incoherent” Chakravartty (2017) considera que el perspectivismo, en su intento por explicar los múltiples modelos, deviene en trivial o inestable ya que o bien no dice nada sustantivo, o bien colapsa en un no perspectivismo (de tinte disposicionalista) o en un antirrealismo (ver también Votsis 2012). En este sentido, la crítica de Chakravartty al intento de respuesta que brinda el perspectivismo como vía de escape frente a los modelos incompatibles resulta en algún sentido externa: no niega que el perspectivismo logre dismantelar la conflictividad en torno a la incompatibilidad cuando aduce que esta resulta ser meramente aparente debido al carácter parcial del acto de la modelización, sino que, por el contrario, afirma que en su éxito radica su fracaso: al lograr solventar el problema, el perspectivismo atenta, sin saberlo, contra sus propios intereses.

Chakravartty asevera que el perspectivismo deviene irrelevante en relación con la pregunta ontológica, porque si bien no hay dudas de que los diferentes contextos de investigación pueden generar múltiples modelos parciales e incompletos, eso no significa que dichos procesos de investigación no generen (desde una perspectiva que pretende ser realista) compromisos de existencia al menos respecto de algunas propiedades del sistema: “cualquiera que aprenda hechos sobre ontología en tal contexto tiene la libertad de llevar este conocimiento consigo dondequiera que vaya. (...) Este tipo de perspectivismo equivale a la perogrullada de que somos criaturas finitas y, como tales, cuando aprendemos cosas sobre el mundo, debemos comenzar en alguna parte” (Chakravartty 2017, pp. 180-181). Pero el perspectivismo corre un riesgo aún mayor: de no resultar irrelevante deviene incoherente e inestable. La inestabilidad se debería a que el perspectivismo o bien deflaciona la noción realista al punto tal de desinflar cualquier referencia ontológica, adoptando una especie de ficcionalismo o instrumentalismo predictivo (Chakravartty 2017), ya que toda representación sería una representación *de dicto*; o bien, para el caso de que no pretenda tal consecuencia, se vuelve no perspectival debido a que, al aceptar una representación *de re* respecto de alguna propiedad relevante, establecería (al menos en cuestión de grados en función de la magnitud de la distorsión generada por las idealizadas) una aserción en términos de existencia; ¿o acaso ni siquiera con aquellas propiedades parciales que se obtienen mediante los modelos incompletos se compromete el perspectivista? La inestabilidad que acuciaría y debilitaría al perspectivismo perduraría

mientras no se justifique el salto que va desde la aceptación de que las contribuciones teóricas e instrumentales no pueden eliminarse, al hecho de que tal distorsión implique que nada del mundo objetivo (no perspectivo) puede ser conocido (Chakravartty 2010b; Votsis 2012). Como solución Chakravartty aboga en favor del disposicionalismo, aduciendo que el aspecto relacional de la investigación científica como producto del uso de técnicas experimentales no supone ningún tipo de perspectivismo. Lo que el conocimiento refleja es una naturaleza intrínsecamente disposicional que tienen las cosas mismas cuando son afectadas por su entorno: “el perspectivista tiene razón al afirmar que los detectores a menudo contribuyen a los resultados de las observaciones (...). Pero eso es simplemente un reflejo de la naturaleza disposicional de las propiedades de esos sistemas” (Chakravartty 2010b, p. 408).

Ahora bien, el problema en torno a la capacidad que tiene el perspectivismo para instituirse seriamente como una propuesta realista es solo un inconveniente que, si bien está o puede estar entrelazado con el problema de la representación, no está íntimamente ligado a él. En efecto, además de preocuparse por lo existente, es posible preguntarse por cómo es o podría ser aquello que presumiblemente existiría; y también en este sentido, como veremos a partir de ahora, los modelos incompatibles resultan una amenaza para la propuesta perspectivista.

Pero para que el problema cobre sentido en toda su dimensión, resulta conveniente resaltar nuevamente, tal como lo hace Morrison (2011, 2015), que los modelos incompatibles no son solo múltiples modelos. A diferencia de aquellas idealizaciones establecidas por los modelos que refieren a planos sin fricción o masas puntuales, que pueden ser caracterizadas cualitativa y cuantitativamente como “falsedades” susceptibles de ser rectificadas mediante correcciones, para el caso de los modelos incompatibles, donde no se sabe cómo es el sistema, no es posible establecer simples mecanismos rectificadores que refinan el modelo en vista de lograr una representación más adecuada. La limitación de la propuesta perspectivista consiste en que no resulta coherente admitir la representatividad de modelos incompatibles con la expectativa de que ellos brinden perspectivas diferentes respecto del *mismo* sistema. Es decir, dado que no son complementarios, es difícil pensar que los modelos en cuestión se constituyen simplemente como verdades parciales igualmente legítimas. Incluso Massimi, defensora de un realismo perspectival modificado,

explícitamente aduce que “los modelos de perspectiva se ven mejor como complementarios en lugar de contradictorios” (Massimi 2018b, p. 341). Y esto es así porque para el caso de los modelos incompatibles, “los diferentes modelos (por muy idealizados y parciales que sean) representan propiedades relevantes del sistema y estas propiedades se entienden como esenciales e inconsistentes entre sí” (Massimi 2022, p. 55). Es decir, los modelos incompatibles ponen de manifiesto que no siempre los modelos proveen una descripción limitada del sistema target, sino que, en muchos casos, no proveen una imagen consistente de él: “tomado como un sistema clásico (o como un líquido, etc.) el núcleo parece X, como sistema cuántico se parece a Y, y así sucesivamente para cualquier modelo dado que elijamos. Pero seguramente esta no es una opción satisfactoria porque ninguna de estas «perspectivas» puede afirmarse que «representa» el núcleo ni siquiera de una manera casi realista, ya que todas se contradicen entre sí en suposiciones fundamentales sobre dinámica y estructura” (Morrison 2011, p. 350). Pero lo más sorprendente es que es el mismo Giere quien, inconscientemente, “confiesa” que este tipo de modelos limitan su perspectivismo. En *Science without Laws* (1999) el autor asevera que, frente a modelos en conflicto, se puede utilizar “el tipo de modelo que mejor se adapte a sus propósitos actuales” (Giere 1999, p. 83). Y luego sostiene que esa actitud es “comprensible, pero demasiado instrumentalista. La base de mi recelo es la suposición de que, después de todo, solo hay un mundo, y tiene una estructura u otra.” (Giere 1999, p. 83).

Ahora bien, obviamente, las consecuencias de estos reconocimientos o confesiones no son las mismas. Mientras que Giere insiste en que los modelos incompatibles requieren de un análisis profundo que evidencie su complementariedad, aduciendo que en realidad dichos modelos estarían refiriendo a diferentes sistemas o a diferentes aspectos de un fenómeno, Massimi (2018a, 2018b), como veremos, desarrolla otra versión del perspectivismo que habilita una especie de trans-perspectivismo. En cambio, otros autores simplemente aseveran que el perspectivismo fracasa ya que o bien, como vimos, no logra compatibilizar coherentemente perspectivismo con realismo (Chakravartty 2010b), o bien sucumbe ante un instrumentalismo sofisticado (Morrison 2011, 2015; ver también Massimi 2018).

Pero por supuesto que la simple acusación o el simple reconocimiento no son suficientes. En lo que resta del capítulo intentaremos tomarnos seriamente la tesis perspectivista,

explotando todas sus posibles líneas de defensa y evaluando, luego, su efectividad para el caso de los modelos propuestos. Para tales fines, creemos conveniente, en primer término, retomar el artículo de Morrison (2011) que se constituyó como puntapié inicial de esta tradición crítica. Esto no solo nos permitirá evaluar los alcances y los límites de su trabajo en función de las estrategias defensivas utilizadas por los defensores de la corriente perspectivista, sino también y fundamentalmente las pretensiones argumentativas del perspectivismo. Una vez esclarecido el panorama que nos permitirá comprender mejor las exigencias impuestas por el perspectivismo, explicaremos por qué los casos presentados en la Sección 3.2 no están sujetos a las mismas críticas que se desplegaron contra Morrison. En definitiva, el objetivo final será ampliar el marco explicativo, indicando que las estrategias disuasorias dadas por los partidarios del perspectivismo para contrarrestar los argumentos brindados por Morrison no resultan fructíferas si se consideran los modelos de electronegatividad y de enlace químico presentados recientemente.

Como dijimos la tesis principal del artículo “One phenomenon, many models: Inconsistency and complementarity” (2011) escrito por Morrison es que el perspectivismo no puede explicar el estatus epistémico de los modelos que son auténticamente incompatibles sino solo aquellos son *aparentemente* contradictorios. Para ello, en primer lugar, con el objeto de poner de manifiesto tal apariencia, mostrar la complementariedad y evidenciar un caso donde el perspectivismo encaja, apela a los modelos que describen la dinámica de fluidos donde, en función de que el fluido se encuentre cerca o no de los bordes o paredes de un contenedor, se muestra, respectivamente, con alta o con nula viscosidad. Ante este caso Morrison considera que el perspectivismo tiene razón al afirmar que, estrictamente, los modelos no son incompatibles. Dado que, como sostiene Weisberg, “cuando un científico está interesado en estudiar algún fenómeno, comienza identificando una región espaciotemporal de interés” (Weisberg 2013, p. 90), es posible pensar de que los respectivos modelos, a pesar de considerar el mismo fenómeno (la dinámica de los fluidos), especifican diferentes targets porque analizan diferentes regiones: la región cercana o lejana de la denominada capa límite donde, en función de su cercanía, el fluido se comporta turbulenta u homogéneamente.

Sin embargo, para Morrison el perspectivismo no es lo único que hay. Para la autora, una cosa es analizar ciertos modelos que, debido a la complejidad, establecen diferentes

enfoques para idealizar la naturaleza de los flujos turbulentos, y otra muy diferente es cuando los modelos producen asunciones incompatibles pero fundamentales respecto del mismo sistema. En este sentido, la peculiaridad de los modelos del núcleo atómico no es solo que existen más de 30 modelos que dicen cosas diferentes sino que, muchos de ellos, establecen aserciones contrarias respecto de la naturaleza fundamental del núcleo. Para justificar esta tesis se centra particularmente en los modelos de la gota líquida y el modelo de capas sobre el núcleo atómico. En el primero se presenta al núcleo como una sustancia incompresible donde los nucleones, análogamente al comportamiento de un fluido, se mueven rápidamente sufriendo fuertes colisiones. En el segundo modelo se lo presenta como estando compuesto por nucleones independientes que interactúan débilmente y se mueven análogamente a como lo hacen los electrones en relación con el núcleo.

A decir de la autora, estas dos formas de entender el núcleo no pueden reconciliarse debido a que presentan compromisos disímiles y contrarios en relación con una y la misma naturaleza fundamental del núcleo. En un libro posterior titulado *Reconstructing Reality: Models, Mathematics, and Simulations* (2015), Morrison insiste en que, ante esta situación, el perspectivismo no tiene más remedio que renunciar a la pretensión de tratar de entender y comprender cómo es la naturaleza del núcleo pues “si tomamos en serio el perspectivismo, nos vemos obligados a decir que el núcleo no tiene naturaleza en sí mismo. (...). Al menos debemos reconocer que nos compromete con una versión no trivial del instrumentalismo, particularmente porque no tenemos una forma obvia de eliminar las perspectivas menos rentables o útiles.” (Morrison 2015, p. 161).

Ahora bien, si consideramos la bibliografía reinante sobre modelos incompatibles, lamentablemente tendremos que aceptar que aquí no hemos encontrado aquellos anhelados pero escurridizos modelos incompatibles que atentan contra cualquier estrategia defensiva que pudiera brindar el perspectivismo. En efecto, algunos autores, ya sea desde posiciones abiertamente perspectivistas como desde posiciones que habilitan algún tipo de perspectivismo, alegan que los modelos presentados por Morrison no son estrictamente incompatibles porque no están epistémicamente a la par.

Bailer-Jones (2003), por ejemplo, advierte que cada modelo no solo selecciona ciertos aspectos del fenómeno e intenta responder diferentes problemas, sino que también toma diferentes conjuntos de evidencias para validarse. El modelo de la gota líquida explica la

fisión o la fusión nuclear, pero fracasa para predecir la distancia promedio definida como el mínimo de interacción o para dar cuenta de los denominados números mágicos. Por su parte, el modelo de capas se impone allí donde el modelo de gota líquida fracasa, ya que precisamente se instituyó como un modelo fundamental para determinar el número de protones y neutrones necesarios a partir de los cuales el núcleo obtiene su estabilidad.

Frisch, a su vez, en un artículo denominado “Models and scientific representation or: who is afraid of inconsistency” (2014), realiza una crítica similar y concluye que sería exagerado promulgar una incompatibilidad. El problema de todos aquellos que pretenden lo contrario es que no consideran que la idea misma de modelo perfecto es un mito. Según el autor, la incompatibilidad sería ficticia porque no es dable esperar que los modelos puedan representar todos los aspectos de un fenómeno. Dado que no es razonable ni consistente con la práctica de modelado pretender una representación total del fenómeno, y dado que los modelos lo único que hacen es representar imperfecta pero adecuadamente ciertos aspectos, aquellos que promulgan la incompatibilidad no consideran que representar es representar con un propósito: “ya no existe un problema especial asociado con teorías inconsistentes o suposiciones de modelos. Si hacemos explícito el papel del usuario no solo en la aplicación sino también en la construcción de un modelo o representación, entonces los supuestos de modelado inconsistentes ya no representan un obstáculo insuperable para nuestras prácticas representacionales” (Frisch 2014, pp. 3039-3040); y esto es así porque “la inconsistencia surge de algunas atribuciones de propiedades falsas, pero la inconsistencia es «benigna» ya que solo algunas propiedades menos específicas correspondientes realmente importan para explicar el éxito empírico específico. En este sentido, la inconsistencia está totalmente contenida en las propiedades innecesariamente específicas atribuidas al sistema, respecto de las cuales el modelo está sobre-comprometido.” (Saatsi 2014, p. 2949).

En la misma línea, Teller (2001b, 2011), cimentando el terreno para el perspectivismo, insiste en que la representación es siempre parcial e imprecisa como producto de los procesos de abstracción e idealización inherentes al acto de la modelización. Es decir, dado que los modelos son incompletos, no debería suponerse que existe un conflicto real entre modelos diferentes y, aparentemente, incompatibles, debido a que ninguno de ellos pretende establecer una verdad (completa) respecto del sistema: “siempre obtenemos modelos idealizados que son, de una forma u otra, representacionalmente defectuosos”.

(Teller 2011, p. 471). Frente a los presuntos modelos incompatibles que consideran el agua desde una perspectiva hidrodinámica como un fluido continuo o desde una perspectiva mecánico-estadística como un sistema discreto, Teller asevera que la mentada incompatibilidad es producto de una concepción equivocada que contempla el proceso de la modelización como una actividad completa, perfecta y autocontenida.

Desde este marco teórico, pretender extraer consecuencias que están más allá del alcance específico por el cual un modelo se desarrolla es no comprender la naturaleza intrínsecamente parcial, imperfecta y pragmática del acto de la modelización y de la representación. Estos autores concluyen que, incluso para el caso de los modelos que no son incompatibles (es decir, para el caso que exista un única representación) debe haber severas restricciones en relación con las inferencias que están autorizadas a realizarse. Estas restricciones, producto de la parcialidad intrínseca del acto de la modelización, pueden tener un alcance tal que, incluso cuando se asuma algún supuesto como fundamental, no resulte lícito comprometerse ni siquiera con las implicaciones que ese mismo supuesto pueda tener en relación con otros aspectos de la misma representación (Frisch 2014). Precisamente en este sentido, da Costa y French (2000), interpretando la naturaleza cuántica del núcleo, recomiendan no llevar demasiado lejos la analogía a partir de la gota líquida.

En resumen, el caso en cuestión es desacreditado o bien porque existe una superioridad cualitativa debido a que un modelo aborda el sistema desde una perspectiva teórica más adecuada, o bien porque los modelos fueron construidos para diferentes propósitos y, por lo tanto, responden a diferentes demandas: en ningún caso se estaría tratando de determinar la naturaleza del núcleo atómico sino los números mágicos para el caso del modelo de capas, y la fisión o fusión nuclear para el caso del modelo de la gota líquida. Pretender extraer inferencias más allá de las estrictamente requeridas en el uso del modelo y sobrepasar los límites impuestos por los propósitos de la investigación sería no comprender la naturaleza del modelado (Carrier 2004).

¿Pero resulta razonable esta restricción? Si el modelo de la gota líquida da cuenta de la fisión nuclear y la fisión nuclear depende de la estructura del núcleo atómico, en qué sentido no resultaría lícito extender las propiedades al ámbito de la naturaleza del núcleo. Para entender la razonabilidad de esta sugerencia Giere apela a los diferentes tipos de

mapas producidos como consecuencia de las proyecciones matemáticas requeridas para transformar la superficie tridimensional de la tierra en una superficie bidimensional. Mientras que las proyecciones realizadas por Mercator en 1590 funcionan bien para la navegación pero generan una imagen engañosa de los tamaños relativos de la superficie de los continentes (por ejemplo, Europa tiene, en el mapa, casi iguales dimensiones que Sudamérica), el mapa de Peters, intentando evitar el “sesgo eurocéntrico”, representa más fielmente la superficie, pero distorsiona las formas. Desde el punto de vista perspectivista, para no caer en la trampa de presumir incompatibilidades por doquier, lo que habría que considerar es que mientras que el primer mapa no fue diseñado para establecer las dimensiones territoriales sino para su uso en la navegación, el segundo fue desarrollado para respetar las dimensiones más no así las formas. Evidentemente si se tomaran los modelos como una totalidad perfecta, estas proyecciones podrían entrar en disputa y resultarían incompatibles. Sin embargo, parece razonable entenderlas como diferentes proyecciones que, en función de los diferentes intereses, seleccionan algunas propiedades y distorsionan otras; es decir, proyecciones parciales que no deben ser concebidas como totales en el sistema estudiado. La analogía entre los modelos científicos y los mapas revelaría el sentido por el cual se afirma que la representación es representación con un propósito. La navegación o las dimensiones de los continentes son propósitos diferentes a considerar, y, en este sentido, cada proyección atiende a cada uno de ellos, pero no a ambos (Giere 2006a).

El ejemplo que viene a ilustrar y justificar la legitimidad de las restricciones inferenciales es claro y la conclusión que se obtiene a partir de este caso particular es justa. Pero, ¿por qué? Para entender por qué el ejemplo es claro pero insuficiente, hay que advertir, parafraseando la estrategia que ellos mismos usan para desacreditar la incompatibilidad, que la analogía con los mapas no puede llevarse demasiado lejos. Es cierto que los científicos no son máquinas deductivas, pero tampoco son trituradoras de carne. Cuando los científicos adoptan un punto de vista privilegiado y en función de este presumen saber cómo es el sistema, toman ciertas licencias y se animan a construir modelos de juguete para evaluar aspectos que el modelo original y primigenio no les permite. Pero cuando este no es el caso, es decir, cuando construyen modelos sobre sistemas que aún no logran comprender por completo, asumen, o pueden asumir, que sus consecuencias pueden echar luz sobre

otros aspectos no inicialmente considerados. Al fin y al cabo, la ciencia también es una actividad que, sobre la base de ciertas suposiciones, se permite estipular sus alcances y sus consecuencias. Los ejemplos utilizados comúnmente para que el perspectivismo resulte intuitivo y razonable son ejemplos que trivializan la posición y la vuelven irrelevante pues, como decía Chakravartty, cuando hechos sin perspectiva, o, si se quiere, con una perspectiva privilegiada, respaldan hechos perspectivales, la posición deviene poco interesante. En el caso de los lugares geográficos, el territorio puede ser recorridos sin el mapa, es decir, puede ser contrastado directamente (cfr. Cassini 2018). Para el caso de los mapas cartográficos, ya se conocían las dimensiones de los territorios y solo por esto es posible advertir el carácter distorsionador que cada representación establece. Pero ¿qué sucede cuando existen interrogantes y, por lo tanto, no resulta tan evidente la posibilidad de establecer estas restricciones inferenciales? ¿Acaso debemos decir que los científicos deben fragmentar el conocimiento y bajo ningún concepto evaluar cuáles son las consecuencias de sus suposiciones? Evidentemente, por más razonable que resulte el ejemplo de los mapas, los científicos no trabajan de ese modo cuando el target es un sistema teórico aun no suficientemente comprendido.

Pero, de todos modos, asumiendo que los ejemplos son eso, ejemplos, y que una postura no puede juzgarse simplemente por la deficiencia de aquellos ejemplos diseñados con fines puramente ilustrativos, por mor de la argumentación, dejaremos de lado estas reflexiones y aceptaremos provisoriamente las condiciones necesarias que, desde el perspectivismo, deben cumplirse para determinar la incompatibilidad entre modelos. En este sentido, para poder atacar esta estrategia de raíz, tendremos primero que exponer la máxima perspectivista intentando identificar los posibles puntos de fuga que podría encontrar el perspectivismo para explicar la incompatibilidad como complementariedad. Esta máxima puede enunciarse como contemplando los siguientes aspectos: *una comunidad C desde marco teórico T y ciertas técnicas experimentales E usa un modelo M empíricamente adecuado para representar un sistema S para un propósito P.*

La propuesta que a partir de ahora se sugiere es evaluar estos considerandos para luego determinar si los casos presentados en la Sección 3.2 satisfacen los particulares constreñimientos que deben cumplirse para que ocurra una genuina incompatibilidad. Atendiéndose a la máxima perspectivista, la incompatibilidad emergería solo en el caso en

que los modelos coincidan en relación con todos los aspectos mencionados. En efecto si una misma comunidad C desde un mismo marco teórico T y con las mismas técnicas experimentales utiliza para los mismos propósitos P dos modelos incompatibles para representar un mismo sistema T, entonces estos modelos serían genuinamente incompatibles y el perspectivismo perdería fuerza explicativa. Caso contrario, el perspectivismo podría argüir que la incompatibilidad puede explicarse y disolverse identificando la fuente de la misma en la discrepancia de al menos uno de los condicionamientos estipulados.

3.4.b Condiciones necesarias para una genuina incompatibilidad

A continuación estableceremos, siguiendo la máxima perspectivista, los considerandos a los que habría que prestar atención para el caso de querer evaluar la existencia de modelos incompatibles. Como dijimos, la máxima establece que *una comunidad C* desde *marco teórico T* y ciertas *técnicas experimentales E* usa un modelo *M empíricamente adecuado* para representar un *sistema target S* para un *propósito P*. En lo que sigue explicaremos por qué cada uno de estos elementos constitutivos al modelado devienen relevantes para asir la incompatibilidad. En la siguiente sección intentaremos elucidar si para el caso de los modelos de electronegatividad y de enlace químico estos elementos pueden constituirse como la fuente, y por lo tanto los responsables, de una incompatibilidad que resulte meramente aparente.

- *Equivalencia empírica*. Resulta evidente que si los modelos no son empíricamente equivalentes, entonces la incompatibilidad puede ser fácilmente desestimada alegando una superioridad de un modelo por sobre otro. En efecto, como afirma Massimi (2022), para el caso de los modelos incompatibles se podrían establecer una serie de salvedades emancipadoras “una de esas advertencias es que uno tendría que demostrar que los modelos disfrutaban del mismo éxito explicativo y predictivo antes de sacar cualquier conclusión acerca de que están epistémicamente a la par. Esta primera advertencia se ocupa de situaciones como el modelo ptolemaico frente al copernicano del sistema solar, donde el primero no disfrutó del mismo éxito predictivo que el segundo” (Massimi 2022, p. 55). Esta superioridad puede presentarse en términos cuantitativos, cuando un modelo logra dar cuenta de más fenómenos, o en términos cualitativos, cuando logra

explicar fenómenos más acuciantes o resulta más afín con la teoría científica imperante. En síntesis, esta condición simplemente establece que para el caso en que los modelos no se encuentran epistémicamente a la par, la presunta incompatibilidad podría no resultar problemática.

- *Marco teórico.* El perspectivismo primigenio impuesto por Giere se sustentaba sobre la base de un perspectivismo teórico que encuentra en los principios fundamentales de las teorías aquello que explica las disímiles construcciones representativas y, consecuentemente, las diferentes características del sistema. Desde aquí suele argumentarse que las diferencias no serían un indicativo de inconsistencia, sino un indicativo de que hay diferentes perspectivas que observan el mismo fenómeno y configuran, en función del marco teórico, diferentes targets: “los grandes principios que se citan como leyes universales de la naturaleza se entienden mejor como la definición de modelos altamente generalizados que caracterizan una perspectiva teórica. Así, las leyes de Newton caracterizan la perspectiva mecánica clásica; las leyes de Maxwell caracterizan la perspectiva electromagnética clásica; la ecuación de Schrödinger caracteriza una perspectiva mecánica cuántica; los principios de la selección natural caracterizan una perspectiva evolutiva, y así sucesivamente.” (Giere2006a, pp. 14-15).
- *Sistema Target.* Cualquier incompatibilidad que se presente debe, por supuesto, establecer sentencias contrarias sobre el mismo target. La peculiaridad que emerge en el contexto del modelado es que el target puede asociarse con un fenómeno en tanto tal, pero no siempre se identifica con este. Debido a que la actividad de representación y de modelado es principalmente una *actividad*, es decir, es una condición íntegramente pragmática, el target y las propiedades que se le atribuyen no pueden, como dijimos, reducirse a un fenómeno total sino a un fenómeno “parcial” determinado, en parte, por el interés de la investigación que, en función de los propósitos de la misma, rescata algún aspecto relevante y se desentiende de los restantes. En consecuencia, la dimensión pragmática resulta imprescindible, pues precisamente de ella depende no solo cuál es el aspecto representacional relevante del modelo, sino también cuál es el criterio a considerar para validar el modelo. Dado que el target no es un fenómeno en tanto tal, considerado como un todo, sino, si se quiere, un aspecto de este fenómeno total (que por supuesto también es un fenómeno pero parcial en tanto que no existe

independientemente de él), un mismo fenómeno puede originar diferentes targets (Weisberg 2013; Cassini 2018)⁴¹. Esto se debe a que en realidad, como afirma Weisberg, el target de un modelo es “un subconjunto del estado total del sistema” (Weisberg, 2013, p. 91). A partir de lo antedicho se puede ahora establecer un nuevo parámetro que debe cumplirse para definir la posibilidad misma de una incompatibilidad genuina. No habrá incompatibilidad cuando se adscriban propiedades contrarias al fenómeno como un todo, ni cuando se establezca la contradicción en relación con propiedades no relevantes, o con propiedades causalmente relevantes pero no pretendidamente definidas por el usuario del modelo. La incompatibilidad requiere que los modelos hayan sido confeccionados para los mismos propósitos con el objeto de identificar o explicar un mismo aspecto del fenómeno; es decir, requiere que las propiedades contrarias sean aquellas propiedades relevantes (propiedades que ahora se constituyen como el target del modelo) que los modeladores pretenden representar.

- *Técnicas experimentales.* La evaluación de las técnicas experimentales es otro elemento a considerar, pues aquí se instituye el segundo carácter (además del mencionado marco teórico) fundante del perspectivismo. A través de la analogía en relación con el modo en que se perciben los colores y la conclusión de que, consecuentemente, toda observación es ciertamente perspectival, Giere agrega: “que los instrumentos que ahora dominan la observación científica son igualmente perspectivos parece casi indiscutible. Están diseñados para interactuar selectivamente con el mundo en formas determinadas por los

⁴¹ Un caso que ilustra a la perfección este asunto es el que fuera presentado en la Sección 3.4.a sobre los modelos que describen la dinámica de los fluidos. Mientras que Morrison (2011), como dijimos, considera que los diferentes modelos refieren a diferentes sub-sistemas, para Rueger (2005), el sistema es el mismo, es decir, es una misma unidad total e indivisa y no dos descripciones de dos sub-sistemas. Para el Rueger, no obstante, la incompatibilidad tampoco resulta desconcertante. Intentando instituir un perspectivismo sobre la base del relacionalismo, asevera que las propiedades ‘ser viscoso’ y ‘no ser viscoso’, equivocadamente atribuidas como si fueran propiedades intrínsecas del sistema, resultan propiedades relacionales que se configuran en función de las diferentes escalas y técnicas experimentales. Es decir, la estrategia de solución que propone Rueger para disolver la inconsistencia es aseverar que la representación no adscribe propiedades intrínsecas e inconsistentes sino propiedades relacionales. Evaluaremos inmediatamente, cuando consideremos las técnicas experimentales, la viabilidad de este proyecto en función de los casos aquí presentados. Esta nota solo pretende poner en consideración la dificultad para delimitar el target de un modelo: mientras que Rueger justifica la complementariedad aseverando un único sistema target que contiene propiedades relacionales, Morrison insiste en que la aparente incompatibilidad resulta del hecho de que los diferentes modelos seleccionan diferentes regiones del mismo fenómeno.

propósitos humanos” (Giere 2006a, p. 93). Advertir que los instrumentos de medida se constituyen como constituyentes del modelado obliga a considerar este aspecto como un posible factor explicativo del modo en que se configuran los disímiles modelos. En este sentido, para poder sentenciar una incompatibilidad genuina, un requisito que se impone es que los modelos en disputa, en el mejor de los casos, compartan las técnicas experimentales. Caso contrario se podría alegar que el proceso representativo es consecuencia de la interacción entre el sistema y las instrumentos de medida utilizados; en otras palabras, se podría disolver la incompatibilidad aduciendo que las discrepancias entre los modelos no es una consecuencia de un sistema target que contiene propiedades contradictorias, sino del modo en que los instrumentos condicionan el proceso de modelado, del modo en que el sistema target se muestra en relación con su interacción con las específicas técnicas experimentales empleadas. Desde este punto de vista, dado que la química se entiende como una disciplina eminentemente experimental, parece razonable suponer que en ella la representación resulta instrumentalmente selectiva, ya que lo que se representa depende de la base tecnológica elegida (Fisher 2017). Desde posturas filosóficas diferentes, similares conclusiones extraen Rueger (2005) y Chakravartty (2010b) cuando afirman que lo representado no manifiesta propiedades intrínsecas del sistema, sino, respectivamente, o bien propiedades extrínsecas (Rueger 2005) o bien propiedades disposicionales (Chakravartty 2010b).

- *Comunidad científica.* Es claro que las técnicas experimentales o los marcos teóricos pueden configurar diferentes comunidades científicas. Sin embargo este último concepto no parece agotarse en estos dos aspectos. Existe una tensión en el contexto de la química cuántica en relación con su cercanía o lejanía con la química estructural o la mecánica cuántica, siendo precisamente esta inclinación hacia alguna de estas áreas de interés la que puede hacer pensar que los científicos inclinados hacia la química estructural clásica configuran una comunidad diferente de aquellos que se interesan más por adaptar la química dentro del marco mecánico-cuántico. En este sentido podría alegarse que los modelos no son incompatibles porque son utilizados por comunidades diferentes que tienen intereses diferentes.

3.5 Modelos de enlace y de electronegatividad a la luz del perspectivismo

Luego de explicar los elementos constitutivos que determinan el modo en que los modelos se configuran, y concediendo la sentencia instituida por Giere, quien, para el caso de las proyecciones topográficas, aseveraba que, dado que las proyecciones de Mercator y Peters “no pueden, por ejemplo, conservar simultáneamente formas y áreas en todas partes, deben, por lo tanto, diferir en algún punto en la forma en que compensan estas dos variables” (Giere 2006a, p. 80), resta considerar si la estrategia que evidenciaría la incompatibilidad como una incompatibilidad meramente aparente resulta eficaz para los casos presentados en la Sección 3.2. Para ello retomaremos los aspectos mencionados al final de la sección anterior y evaluaremos si existe alguna discrepancia entre los modelos que justifique y explique la adjudicación de propiedades contradictorias.

El núcleo argumentativo de esta última sección puede expresarse sintéticamente del siguiente modo: si se pudiera encontrar una discrepancia significativa de los aspectos mencionados en los casos presentados, entonces la incompatibilidad no sería legítima y el perspectivismo ganaría fuerza como sistema explicativo; caso contrario, se deberían aceptar las limitaciones de su propuesta.

En este sentido, en lo que sigue retomaremos cada uno de los ítems de la sección anterior, analizándolos en relación con los modelos de Pauling, Mulliken y Allred y Rochow sobre la electronegatividad y los modelos de Pauling y Mulliken sobre el enlace químico.

- *Equivalencia empírica.* El primer aspecto a evaluar es si los respectivos modelos son empíricamente equivalentes pues, como se mencionó, caso contrario, podría aseverarse que un modelo es mejor que otro y que sus diferentes usos dependen simplemente de cuestiones pragmáticas relacionadas o bien con la simplicidad que algún modelo presenta en relación con el tratamiento de algún fenómeno en particular o bien con la familiaridad que los científicos tienen con una u otra técnica experimental. En relación con los modelos sobre electronegatividad, si bien es cierto que en un principio el modelo de Pauling tenía ciertas dificultades para determinar la EN de algunos elementos, posteriores rectificaciones coadyuvaron a que cualquiera de las escalas mencionadas puedan, como se muestra en la Figura 3, reconstruir la misma escala relativa para cada uno de ellos.

Table 1.7 Pauling χ_{PA} , Mulliken, χ_{ML} and Allred–Rochow, χ_{AR} electronegativities

H							He
2.20							5.5
3.06							
2.20							
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
0.98	1.57	2.04	2.55	3.04	3.44	3.98	
1.28	1.99	1.83	2.67	3.08	3.22	4.43	4.60
0.97	1.47	2.01	2.50	3.07	3.50	4.10	5.10
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
0.93	1.31	1.61	1.90	2.19	2.58	3.16	
1.21	1.63	1.37	2.03	2.39	2.65	3.54	3.36
1.01	1.23	1.47	1.74	2.06	2.44	2.83	3.30
K	Ca	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
0.82	1.00	1.81	2.01	2.18	2.55	2.96	3.0
1.03	1.30	1.34	1.95	2.26	2.51	3.24	2.98
0.91	1.04	1.82	2.02	2.20	2.48	2.74	3.10
Rb	Sr	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
0.82	0.95	1.78	1.96	2.05	2.10	2.66	2.6
0.99	1.21	1.30	1.83	2.06	2.34	2.88	2.59
0.89	0.99	1.49	1.72	1.82	2.01	2.21	2.40
Cs	Ba	Tl	Pb	Bi			
0.79	0.89	2.04	2.33	2.02			
0.70	0.90	1.80	1.90	1.90			
0.86	0.97	1.44	1.55	1.67			

(Figura 3)

Por otro lado, en cuanto a los modelos de enlace se refiere, en un principio OM se consideró mejor que EV debido a su gran capacidad de adaptación a los modelos computacionales y al hecho de que EV, en su primera formulación, comenzó a acumular una serie de fallas. Brush (1999a, 1999b) sostiene que el modelo de EV presenta las siguientes fallas. En primer lugar, OM predice correctamente que la molécula de O_2 es paramagnética, pero en EV dicha molécula tiene un estado fundamental de singlete dado por la estructura de Lewis $O=O$. En segundo lugar, EV predice erróneamente que la molécula C_4H_4 se estabiliza por resonancia de manera muy similar al benceno, cuando OM muestra correctamente que tiene una energía de resonancia cero y debería poseer una forma rectangular, con longitudes de enlace C–C desiguales. En tercer lugar, a diferencia de OM, EV no logra predecir el comportamiento de algunos iones aromáticos y antiaromáticos. Y por último, EV no logra predecir que el CH_4 exhibe dos diferentes picos de ionización en espectroscopia de fotoelectrones.

Sin embargo, recientemente el modelo EV ha resurgido como resultado de una investigación realizada por Shaik y Hiberty intitulada “Myth and reality in the attitude toward Valence-Bond Theory: are its ‘failures’ real? (2003), donde se demuestra que estas fallas son producto de una serie de mitos históricos o producto de una versión caricaturizada y simplista de EV (para mayor detalle ver Shaik y Hiberty 2003 y Shaik, Danovich y Hiberty 2021). De hecho, los autores aseveran que difícilmente estos modelos puedan no ser empíricamente adecuados dado que resultan matemáticamente

equivalentes. En efecto, la equivalencia matemática entre OM y EV se conoce desde la década de 1930 (Slater 1931, vanVleck y Sheman 1935) ya que es bien sabido que si un conjunto de orbitales es una solución aceptable para la ecuación de Schrödinger, cualquier transformación unitaria de esos orbitales también es una solución aceptable. En este sentido, si bien las extensiones a sistemas multielectrónicos/multiorbitales requieren más matemática (aproximaciones), llevan a la misma conclusión y, por lo tanto, aunque sus representaciones sean diferentes, ambos modelos son matemáticamente equivalentes. Ahora bien, lo que resulta sumamente relevante destacar es que esta equivalencia matemática no supone una equivalencia conceptual dado que, aunque converjan en el límite, lo hacen desde diferentes direcciones: EV considera una molécula como un conjunto de enlaces, mientras que en OM la molécula es considerada como un todo indivisible. Es decir, EV se presenta como una configuración única de electrones en orbitales híbridos, con enlaces de pares de espín, mientras que OM se presenta como una configuración única de orbitales moleculares dispuestos en orden creciente de energía y electrones deslocalizados. En conclusión, la equivalencia matemática no implica equivalencia conceptual porque la “lectura conceptual” de ambos modelos, es decir, la forma en que presentan los vínculos, es completamente diferente.

En cuanto al caso de la electronegatividad, en pos de establecer una equivalencia entre las escalas se han tejido diferentes correlaciones, tanto entre las escalas de Pauling y Mulliken, haciendo que $EN_P = 1,35 [EN_M]^{1/2} - 1,37$, como entre las escalas de Pauling y Allred-Rochow, haciendo que $EN_P = 0.359 EN_{A-R} + 0,794$. Sin embargo, nuevamente esta correlación numérica no supone ninguna equivalencia conceptual. Los químicos mismos aceptan que aunque haya correlaciones numéricas, la magnitud física de la EN resulta confusa debido a que las unidades de medida, es decir, la dimensionalidad de la propiedad, difiere drásticamente en cada uno de los modelos. La unidad de medida utilizada por Pauling es la de energía^{1/2}, la utilizada por Mulliken es la de energía, y la unidad de medida utilizada por Allred y Rochow es la de fuerza. Esta discrepancia no resulta inocua ni poco significativa; por el contrario es un aspecto visiblemente resaltado por muchos de los químicos teóricos: “es difícil comprender el significado de una cantidad si no se sabe en qué unidades debe expresarse. Claramente, los valores numéricos absolutos de cantidades que tienen unidades diferentes no son comparables,

porque representan entidades conceptualmente diferentes. Por lo tanto, sería deseable tener una ecuación definitoria basada claramente en un concepto físico que esté en armonía con la definición de electronegatividad y aclarar la cuestión de las unidades.” (Iczkowski y Margrave 1961, p. 3547).

Este análisis, a su vez, permite identificar los límites de la propuesta trans-perspectival desarrollada por Massimi (2018a, 2018c). En efecto, la autora, en el contexto del análisis de la viscosidad que tienen los fluidos desde la perspectiva brindada por la hidrodinámica y por la mecánica estadística, y en aras de resolver algunos problemas que la propuesta de Giere tenía en relación con el realismo y con los modelos incompatibles, asevera que “si cambiamos del contexto de uso al contexto de evaluación, podemos imaginar un evaluador de perspectivas cruzadas (...). Más precisamente, puede ser posible recuperar afirmaciones de conocimiento verdadero sobre lo que aparece como una propiedad primitiva del agua (viscosidad) en hidrodinámica a partir de las propiedades estadísticas del flujo medio de las moléculas en la perspectiva mecánico-estadística. De hecho, es posible evaluar la adecuación del desempeño de las afirmaciones de conocimiento en hidrodinámica (por ej., <El agua es un líquido con una viscosidad dinámica de $1.983 \cdot 10^{-5}$ Pa s>) desde el punto de vista de la mecánica estadística del no-equilibrio, donde la viscosidad dinámica (η) puede recuperarse a partir de la dinámica microscópica caótica usando varios enfoques” (Massimi 2018c, p. 355).

A nuestro entender, el error conceptual no sería intentar establecer una correlación o transcripción de una perspectiva a otra, sino en no ser conscientes de cuál es el alcance de esta estrategia. En este sentido, afirmar que “tales afirmaciones de conocimiento también deben ser evaluables desde el punto de vista de otras perspectivas científicas (posteriores o rivales)” (Massimi 2018c, p. 354) resulta ligeramente tramposo. En la teoría de fluidos se definen los objetos juntos con sus propiedades (por ejemplo la viscosidad η para el contexto de la hidrodinámica). Sin embargo, en el contexto de la mecánica estadística las propiedades varían (el momento p y la posición q). Es cierto que si se tiende al límite, en mecánica estadística se puede calcular una propiedad colectiva η' que coincide numéricamente con η : $\eta = \eta'$. Pero esta equivalencia numérica no es una equivalencia conceptual (y por supuesto tampoco ontológica) dado que, aun cuando se

cumpla desde el punto de vista matemático que: $\eta = \eta'$, no hay aquí una identidad lógica o conceptual ya que η y η' son propiedades distintas de objetos distintos. Para poder establecer una equivalencia que pueda diluir la dificultades conceptuales que supone pasar de una perspectiva a otra, se requiere de un salto no justificado que establezca que η y η' son lo mismo. En este sentido, si bien esta equivalencia matemática es legítima, y si bien esta equivalencia permite, evidentemente, conceptualizar un fenómeno desde diferentes perspectivas, no hay aquí, estrictamente hablando, ningún cruce perspectival, porque siempre se está atado a los parámetros impuestos por una u otra perspectiva. La equivalencia matemática permite entender desde una perspectiva, pero de un modo radicalmente diferente, lo que se presenta en otra perspectiva, es decir, permite poner en pie de igualdad dos visiones contrapuestas de un mismo fenómeno. Por lo tanto, el alcance de esta equivalencia matemática es un alcance epistémico que permite justificar pragmáticamente el uso indistinto de una u otra perspectiva, pero esto, no puede suponer una solución al problema conceptual que generan los modelos incompatibles. A su vez, resulta pertinente considerar que muchas veces estas actividades epistémicas generadas para llegar a una igualdad matemática se producen introduciendo datos externos que no pueden ser derivados de primeros principios, generando aproximaciones que, en algún sentido, terminan violentando la naturaleza del objeto (volveremos más específicamente sobre esto cuando evaluemos la aproximación Born-Oppenheimer en el Capítulo 5). Por otro lado, si el análisis perspectival pretende afirmar simplemente que estas rectificaciones y artilugios matemáticos son dependientes del contexto y, por lo tanto, se legitiman dentro de él, esto resulta cierto pero trivial: en el fondo lo que se afirma es que el conocimiento en una perspectiva se valida cuando se lo usa como se lo usa para las cosas en que se los usa.

En síntesis, considero que lo expuesto resulta suficiente para resaltar que, en la química actual, los modelos aquí analizados son empíricamente equivalentes, pero que dicha equivalencia empírica no supone una equivalencia conceptual. En consecuencia, si bien pueden establecerse correlaciones o equivalencias matemáticas que permiten justificar en términos pragmáticos por qué cada uno de los modelos puede ser usado indistintamente, la confusión conceptual en relación con qué es el enlace químico o qué es la electronegatividad continúa vigente.

- *Marco teórico.* Como se ha mencionado, originariamente se ha querido instituir un perspectivismo sustentado en que los diferentes principios teóricos o marcos conceptuales delimitan distintos esquemas de pensamientos a partir de los cuales se aborda un mismo fenómeno de estudio. Desde este punto de vista, la discrepancia entre modelos podría resultar de que estrictamente diferentes marcos teóricos rescatan diferentes aspectos y configurarían diferentes observaciones.

Ahora bien, para los casos presentados esta estrategia deviene infructuosa. El marco teórico en cada uno de los respectivos modelos teóricos coincide: mientras que el modelo de enlace de valencia y del orbital molecular son dos aproximaciones originadas de la ecuación de Schrödinger independiente del tiempo, es decir, son dos especializaciones de la misma ecuación exacta de la mecánica cuántica, para el caso de los modelos de electronegatividad, tanto el modelo de Pauling como el de Mulliken provienen de las ecuaciones instituidas por el enlace de valencia (cfr. Mulliken 1934).

Sin embargo, podría aducirse que el marco teórico es el mismo pero que las idealizaciones introducidas a partir de este marco teórico difieren y que, precisamente, estas diferentes idealizaciones explican la supuesta incompatibilidad. Aquí la estrategia no sería estrictamente la presentada anteriormente a partir de lo propuesto por Teller (2001b, 2011) en relación con que las idealizaciones suponen un conocimiento parcial e incompleto que no habilita a extrapolar conclusiones que estén más allá del alcance de las mismas, sino que las idealizaciones, en sí mismas, son las responsables de las configuraciones divergentes. Desde esta línea de análisis, por ejemplo, Hettema asume el punto de vista propuesto por van Vleck y Sherman (1935) al afirmar que “claramente, se vuelve una sutileza sin sentido discutir cuál de los dos métodos es mejor en formas refinadas ya que finalmente se fusionan. De hecho, pueden considerarse simplemente como dos puntos de partida de un cálculo de perturbación, correspondientes a diferentes opciones de función de onda no perturbada” (Hettema 2017, p. 38). De igual modo, McWeeny (1979) sentencia que “no existe un conflicto real entre OM y EV; ofrecen primeras aproximaciones algo diferentes a las funciones de onda moleculares, pero convergen en los mismos resultados a medida que se refinan sistemáticamente. Difícilmente se puede exagerar la importancia de esta conclusión.” (McWeeny 1979, p.

39). Desde este esquema argumentativo podría parecer que la réplica resulta eficaz y que el perspectivismo renace como una salida sólida y prominente.

Sin embargo, aun aceptando la verdad de este tipo de aseveraciones, el perspectivismo no puede consolidarse significativamente a partir de ellas pues, dado que efectivamente este es el punto de partida del proceso de modelado, su verdad resulta trivial y su solución parece ad hoc: todo modelo se constituye sobre la base de analogías o suposiciones que permiten la configuración de técnicas que a su vez posibilitan el tratamiento del fenómeno bajo estudio en función de las cuales se extraen las conclusiones pertinentes –y parciales–. En este sentido como afirman Rueger (2005) y Massimi (2022) no es posible “tratar de desinflar el PIM (problema de los modelos incompatibles) apelando a la naturaleza idealizada y parcial de la representación que ofrece cada modelo. Lo que todavía falta es una explicación de por qué los modelos no entran en conflicto; de qué manera son complementarios en lugar de contradictorios” (Massimi 2022, p. 62).

Pero la trivialidad de esta verdad conduce, a su vez, a dos errores argumentativos. En primer lugar, nuevamente se realiza un salto argumentativo, pues del hecho de que todo modelo contenga algún tipo de idealización no se infiere que cualquier perturbación epistémica que pueda generar el proceso de modelado pueda ser reducida y justificada apelando a ellas. En segundo lugar, y fundamentalmente, eso no puede hacerse porque no solo no es cierto que todas las (presuntas) idealizaciones cumplan el mismo papel, sino porque es un error creer que las mismas pueden ser evaluadas bajo un único criterio. Una cosa son las típicas idealizaciones clasificadas como falsedades *evidentes*, como, por ejemplo, conceptualizar un cuerpo como un punto homogéneo, o establecer idealmente un plano sin fricción. En estos casos, dado que existe un marco de referencia, las idealizaciones tienen un papel subsidiario puesto que, si bien facilitan el cálculo y la predicción, no se instituyen como elementos descriptivos primarios y fundamentales del sistema. En cambio, como afirma Morrison (2015), en los modelos incompatibles formulados en y desde el contexto de un mismo marco teórico, no hay lugar para mecanismos rectificadores que refinan el modelo en vistas de brindar una representación más fiel del sistema. Esto se debe precisamente a que, cuando los modelos son incompatibles, no se sabe cómo es el sistema y, por lo tanto, resulta difícil juzgar la

idealización en términos de distorsión. En efecto, las idealizaciones pueden juzgarse como falsas o bien porque existe un criterio independiente, o bien por la posibilidad de observar el sistema desde otra perspectiva, o bien porque se confía en el marco teórico a partir del cual se entiende el modelo. No obstante, si el modelo establece asunciones contrarias, si no es posible acceder al sistema paralelamente ya sea empírica o teóricamente, y si, a su vez, sendos modelos incompatibles pertenecen al mismo marco teórico, surge la pregunta en relación con cuál es el criterio a partir del cual los supuestos en los que se basa la incompatibilidad se juzgan como meras idealizaciones que distorsionan el sistema. Más aun cuando, para el caso de los sistemas teóricos, la práctica habitual precisamente es estipular ciertos supuestos para luego, en función de la contrastación empírica, evaluar dichos supuestos como susceptibles o no de ser objeto de creencias. Por supuesto que esto también implica que, dada la incompatibilidad, pueda establecerse que todos los supuestos involucrados deban ser desacreditados (recordemos que una incompatibilidad prohíbe la verdad pero no la falsedad de los enunciados puestos en contradicción); pero eso implicaría (y he aquí el punto principal de la discusión), al menos en el contexto de los modelos incompatibles, abandonar el realismo perspectival y representacional en favor de un punto de vista instrumentalista. En este sentido, luego de concluir que ante el problema de los modelos incompatibles el perspectivismo se vuelve una versión no trivial del instrumentalismo, y luego de subrayar que el problema de los modelos incompatibles no se refiere a las idealizaciones dado que, para el caso en que no existan parámetros externos, la supuesta brecha entre modelo y realidad no puede cerrarse mediante la adición de rectificaciones y técnicas de aproximación, Morrison advierte que “en última instancia, el perspectivismo o no agrega nada que no esté ya implícito en el contexto del modelado o no brinda una solución a los problemas de inconsistencia” (Morrison 2015, p. 195).

Pero, además, el perspectivismo tiene un inconveniente aun mayor. Ni siquiera queda claro cómo es posible, desde este punto de vista, entender las idealizaciones en términos de distorsiones. Si el marco teórico es el mismo y cada modelo contiene su propia idealización e impone, en función de ella, su perspectiva, ¿desde qué criterio se evalúan aquellos elementos que se constituyen como distorsiones del sistema?, ¿desde qué punto de vista se evalúa aquel elemento que, siendo sustancial del modelo, resulta, sin

embargo, despreciado?. y ¿desde qué perspectiva se observa el sistema para que este, a pesar de encajar con el modelo (idealizado), se considere como diferente en aquellos aspectos sometidos a la idealización? Por último, siendo que el sistema es el sistema *desde* un modelo, ¿cómo se establecen los grados en que el sistema resulta distorsionado en función de las idealizaciones, dado que al no haber hechos no perspectivales la idea misma de desviación, supuesta en las idealizaciones, parece ilusoria?

- *Sistema target*. En relación con el tercer considerando resulta imperioso intentar elucidar de un modo más preciso el target de los respectivos modelos incompatibles presentados, pues, a diferencia de los mapas cuyo target es o puede ser un objeto observable, contrastable directamente sin utilización de modelo alguno (Cassini 2018), para el caso de los modelos científicos el target no suele ser un fenómeno dado en el mundo directamente observable, sino que es producto de una construcción teórica. En efecto, mientras que los fenómenos contienen un conjunto numeroso de propiedades, el target, como construcción abstracta de aquellos, rescata solo algunos aspectos relevantes para la investigación.

Ahora bien, aun cuando el reconocimiento de la parcialidad intrínseca del acto de conocimiento propio de la modelización constituya el elemento más sustancial del perspectivismo (Giere 2006a), ello ni anula de plano la posibilidad de una incompatibilidad relevante, ni implica necesariamente la aceptación del perspectivismo, sino que simplemente impone severas restricciones. Teller (2001b, 2011), Giere (2006a) y Frisch (2014) se equivocan al pretender hacer de la parcialidad un argumento en favor del perspectivismo aseverando que, ante la ausencia de un modelo completo, lo único que tenemos son perspectivas, y se equivocan cuando sostienen que aquellos que consideran la incompatibilidad en términos problemáticos es porque tienen una concepción ingenua y equivocada sustentada en la añoranza de un modelo perfecto y completo. No obstante aciertan en la estrategia porque, aun cuando resulte falaz, obliga a moderar las por momentos compulsivas pretensiones de encontrar incompatibilidades. Este mérito, sin embargo, no resulta suficiente para imponer su punto de vista, pues no solo del hecho de que no haya un modelo completo no se sigue que no haya ni pueda haber modelos incompatibles, sino que del hecho de que no haya una visión desde ninguna parte tampoco se sigue que pueda haber una visión desde cualquier parte (Morrison

2015). Como afirma Lipton, “las descripciones científicas seguramente son incompletas y están afectadas por el interés, pero estas son características que el objetivista puede tener en cuenta. La completitud y la objetividad son ortogonales” (Lipton 2007, p. 838). En la misma línea, aunque con intereses diferentes que oportunamente evaluaremos, Rueger afirma, en contra de aquellos que pretenden desacreditar la incompatibilidad en el carácter ideal y/o parcial del proceso de la modelización, que “comprender los modelos como idealizaciones o como representaciones vagas no es suficiente por sí mismo: no todos los modelos vagos pueden ser plausiblemente compatibles, o «encajar juntos» solo en virtud de ser representaciones vagas en lugar de exactas.” (Rueger 2005, p. 593).

Es decir, aun cuando el conocimiento sea parcial y la parcialidad no esté relacionada con un límite epistémico sino con el hecho de que la información seleccionada del modelo no puede extenderse más allá de los estrictos límites impuestos por el *uso* del mismo, eso no implica que no pueda hablarse de objetividad ni de que no resulte lícito atribuir al sistema la propiedad relevante para cuya descripción el modelo fue confeccionado. O en otras palabras y para decirlo sin apelar a perífrasis alguna: esta estrategia solo tendrá éxito si las propiedades sobre las que se aplica la incompatibilidad no son las propiedades relevantes. En este sentido, a continuación, atendiendo a las preocupaciones legítimas instituidas desde el perspectivismo en relación con que la parcialidad del proceso de modelado puede generar confusión respecto del target de los respectivos modelos, es necesario analizar detenidamente cuál es el target real de los modelos presentados.

A primera vista parecería una cuestión menor: los modelos de enlace y de orbital molecular son diferentes formas de expresar el enlace químico de las sustancias, mientras que los modelos de electronegatividad refieren a la tendencia o la capacidad de un núcleo para atraer electrones, es decir, a la medida del grado de transferencia de un átomo a otro.

Dado que en relación con la electronegatividad no hay demasiada discusión en tanto que se analiza como una propiedad del enlace que mide la distribución electrónica en términos de polaridad, en lo que sigue nos adentraremos en la discusión en torno a los modelos de enlace.

El concepto de enlace no resulta un concepto claro e inequívoco sino que, por el contrario, se presenta en una variedad de tipos y formas. Hettema (2017), por ejemplo, atento a esta dificultad conceptual, advierte que el concepto mismo de enlace es un concepto abierto, que puede ser entendido de diferentes formas dependiendo del dominio de referencia. Un primer dominio es aquel que conceptualiza el enlace en términos clásicos mediante “palos” y “pelotas”; otro dominio refiere a los pares de electrones de Lewis; un tercer dominio se entiende en términos energéticos, como el mínimo de un pozo de potencial; y un último dominio asocia el enlace con una distribución de carga localizada en un área particular del espacio. Ahora bien, parece evidente que esta subdivisión de dominios no puede constituirse como un intento de solución al problema de los diferentes modelos de enlace, pues lo único que hace es parafrasear el problema. Este diagnóstico resulta adecuado si se considera que Hettema no solo advierte que estas nociones en competencia no comparten las mismas características (por ejemplo, la perspectiva que entiende el enlace en términos de “palos” y “pelotas” o como un pozo de potencial, a diferencia de la perspectiva que lo conceptualiza en términos de distribución de carga, atribuyen al enlace la propiedad de tener “longitud”—cfr. Hettema 2017—), sino que, debido a las múltiples descripciones posibles, no es factible definir el concepto en forma clara y distinta. Consecuentemente, el autor concluye que resulta imposible instituir un dominio total de enlace que contemple todos sus subdominios: “la pregunta sigue siendo cómo dividir el dominio D (dominio total del enlace químico) en subdominios. El único requisito basado en principios que se puede aplicar al dominio total es el requisito global de consistencia y esto no deja mucho para decidir cómo dividir el dominio en subdominios” (Hettema 2017, p. 45. El agregado entre paréntesis no pertenece a la cita original).

Por su parte, Hendry (2006) intenta definir el target identificando dos dominios diferentes que permitirían dar cuenta de las divergentes explicaciones sobre el enlace químico. Para ello establece la canónica distinción entre la *concepción estructural* y la *concepción energética* de enlace. La primera, identificada con la teoría de los pares de electrones de Lewis, toma al enlace químico como una parte material de la molécula responsable de la localización espacial de los elementos sub-moleculares. Esta concepción está íntimamente ligada con el enlace de valencia pues considera al enlace

como un fenómeno sub-molecular entendido en términos de regiones espaciales entre átomos (Weisberg 2008). Por su parte, la segunda concepción, asociada con el modelo del orbital molecular, en lugar de radicar el enlace en algún elemento material que realice la función de mantener unida a la molécula, interpreta el enlace en términos de cambios energéticos entre estados moleculares o supra-moleculares, es decir, explica el enlace no mediante elementos sub-moleculares, sino a partir de la energía requerida para la estabilización molecular.

Ahora bien, esta distinción como posible solución al problema adolece de dos inconvenientes. En primer lugar, nuevamente, aquí solo se parafrasea el problema pues, como afirma Seifert, “las dos concepciones de Hendry no proporcionan una salida a la ambigüedad en torno a los enlaces químicos. En cambio, resumen y resaltan los principales puntos de desacuerdo en torno al enlace químico” (Seifert 2022, p. 11). En segundo lugar, se pretende dar una solución al problema de los modelos de enlace mediante una clasificación que no resulta prometedora. El criterio clasificatorio a partir del cual Hendry pretende configurar los respectivos dominios que resultarían en los diferentes target de sendos modelos resulta infructuoso debido a que no es excluyente. Es decir, tanto el modelo de valencia como el modelo del orbital molecular son, simultáneamente, estructurales y energéticos. Ambos modelos son estructurales en cuanto se refieren a la disposición de los electrones en las moléculas que, junto con las posiciones nucleares, definen la estructura geométrica de una molécula. De hecho, ambos modelos intentan explicar las propiedades físicas (propiedades magnéticas) y químicas (por ejemplo, la acidez) de las sustancias utilizando la distribución electrónica, que es el factor determinante de la reactividad química y la estructura química. Por otro lado, la concepción energética también está presente en ambos casos. La explicación más general del enlace en la molécula de hidrógeno es que el estado enlazado es el de menor energía; y precisamente, este argumento está presente en ambos modelos desde el principio.

Pero si el concepto de enlace parece un concepto difuso, y los dominios presentados no resultan descriptivos, ¿cuál es el target de los modelos de enlace? El inconveniente que las propuestas anteriores parecen contener es que intentan, mediante la proliferación de dominios, despreciar el problema de los modelos incompatibles en vez de reconocer su

existencia. Una señal que puede resultar iluminadora puede rastrearse en los títulos de los trabajos por los cuales ambos autores, Mulliken y Pauling, ganaron sus respectivos Premio Nobel. En 1954 Pauling gana el Premio Nobel por su trabajo en “The nature of the chemical bond and its application to the elucidation of the structure of complex substances”. Posteriormente, en 1966 Mulliken lo hace por su trabajo concerniente a “The chemical bonds and the electronic structure of molecules by the molecular orbital method”. Estos registros históricos parecen inducir que ambos autores, Mulliken (explícitamente) y Pauling (asumiendo que la estructura molecular depende de la estructura electrónica) se interesaron por el enlace químico entendido a partir de la disposición de los electrones. En otras palabras, ambos modelos comparten el mismo target, ya que pretenden dar cuenta de la distribución electrónica, específicamente, de la función que realizan los electrones en el proceso de formación molecular. Y precisamente respecto de esto, es decir, en relación con qué es lo que hacen los electrones para la configuración de los enlaces moleculares, establecen, como vimos cuando analizamos los casos, sentencias diferentes y contradictorias. De hecho, Mulliken, explícitamente, hace referencia a que su largo camino recorrido estuvo supeditado a entender qué es “el electrón y lo que hace” (Mulliken 1975, p. 13) (cfr. Gavroglu y Simoes 2012b); ¿o acaso el título de su obra “What are the electrons really doing in molecules” (1960) no es sugerente respecto de cuál es su objeto de interés? En conclusión, aun cuando los modelos sean parciales, eso no atenta contra la posibilidad de encontrar modelos con idénticos propósitos que establezcan prescripciones incompatibles del mismo target. Y como intentamos mostrar esto parece el caso para los modelos propuestos en la Sección 3.2.

- *Técnicas experimentales.* Otro aspecto a considerar es el referido a las técnicas experimentales que presuponen los modelos, ya que bien se podría afirmar que las distintas formas de entender el enlace químico o la electronegatividad se explican por las distintas técnicas experimentales utilizadas. En efecto, como dijimos en la sección anterior, los disposicionalistas (Chakravartty 2010b) y los perspectivistas (Rueger 2005; Giere 2006a) suelen utilizar esta estrategia para explicar y disolver los problemas generados por los modelos incompatibles, aduciendo que el proceso representativo no

capta aisladamente el sistema target sino la interacción entre este y los instrumentos de medida.

De hecho, parte del debate en torno a las diferentes tradiciones de investigación utilizadas por los máximos exponentes de los modelos presentados (a saber, Pauling, y Mulliken) se ha restringido a la efectiva afinidad de Pauling con la termodinámica y de Mulliken con la espectroscopía. Mientras que Pauling tuvo un amplio contacto con la termodinámica de Lewis y su concepción del enlace, Mulliken fue un científico interesado en la espectroscopia molecular. Asimismo, puede afirmarse que mientras que el postulado de aditividad para el caso del modelo de electronegatividad de Pauling es un postulado termodinámico; los conceptos de afinidad electrónica y potencial de ionización son conceptos ínsitos a la espectroscopía. A su vez, en lo que respecta con los dos modelos de enlace, la misma analogía puede ser establecida: EV estaría ligado a la teoría de pares de electrones de Lewis y la geometría molecular, mientras que OM estaría asociado tradicionalmente a la espectroscopia. Este análisis podría sugerir que efectivamente la incompatibilidad es una muestra, o una consecuencia, de la interacción entre sendas técnicas experimentales y los respectivos sistemas representados por los modelos en disputa.

Sin embargo, no hay que confundir planos argumentativos diferentes. Si bien la referencia a las diferentes tradiciones experimentales en las que se instituyeron ambos modelos resulta prometedora en el contexto de un análisis en relación con las contingencias históricas que explican el desarrollo específico de determinados modelos, esto no habilita a extrapolar las conclusiones obtenidas desde este plano argumentativo a otro plano argumentativo interesado por entender, no las peculiaridades de gestación de un modelo, sino la naturaleza misma del acto representativo. En este sentido, Simoes y Gravoglu en su libro *Neither Physics nor Chemistry* (2012b) realizan una análisis histórico contingente y advierten que la forma particular en que se desarrolló la química cuántica “estuvo históricamente situada, siendo a veces el resultado de consideraciones no solo técnicas sino también culturales y filosóficas”. Pero asimismo y acertadamente, aceptan que este análisis no agota el hecho de que los modelos pudieron haber sido desarrollados de otro modo. En otras palabras, no se niega aquí que el análisis historicista pueda ser revelador para entender por qué ciertos modelos adquirieron

ciertas formas. Como afirman los autores, en el proceso de aplicación de la mecánica cuántica a la química, Pauling introdujo muchas aproximaciones y suposiciones arbitrarias desde un punto de vista de la física teórica, pero que tenían plena justificación si se las considera en función de los datos termoquímicos provenientes de su trabajo experimental. A su vez la historia académica de Mulliken está ligada fuertemente a la espectroscopía. En su periodo de doctorando, se trasladó al Laboratorio de Física Jefferson en Harvard, donde comenzó a trabajar en espectroscopia molecular; y luego, para finalizar este trabajo se dirigió a la universidad de Chicago, donde había una fuerte tradición en espectroscopía dado que allí se radicaba uno de los mayores laboratorios espectroscópicos de la época (para más detalles, ver Simoes y Gravoglu 2012b). En síntesis, cuando el plano de la argumentación radica en tratar de analizar la génesis y el desarrollo histórico de ambos modelos, incluso para los modelos propuestos, es factible y quizás iluminador establecer la asociación entre Pauling y la termodinámica por un lado y Mulliken y la espectroscopía por otro.

Sin embargo, ello no tiene consecuencias en relación con la naturaleza de la representación, pues existe un salto injustificado entre mostrar una relación contingente entre ciertas técnicas experimentales y los modelos, y suponer que, por lo tanto, la propiedad representada es una propiedad disposicional o relacional dependiente de dichas técnicas experimentales. Para que esta estrategia tenga éxito, se debe hacer algo más que simplemente describir la situación real y contingente del proceso de modelado. Sería deseable mostrar alguna asociación más profunda entre las respectivas técnicas y la forma particular en que cada modelo representa el enlace.

Pero esto no es posible porque, de hecho, a pesar de que así no se haya establecido históricamente, las técnicas son intercambiables. Por un lado, en el modelo de electronegatividad de Pauling, la energía necesaria para romper el enlace a partir de la cual se mide la electronegatividad puede ser medida espectroscópicamente. Por otro lado, en relación con los modelos de enlace, ambos modelos pueden ser validados con cualquiera de las técnicas experimentales mencionadas. Como afirma Hendry, “la visión energética encuentra apoyo fuera de la mecánica cuántica. En termodinámica, la fuerza de los enlaces se puede estimar usando la ley de Hess” (Hendry 2006, p. 919).

- *Comunidad científica.* Resta considerar el último elemento que podría explicar la divergencia teórica entre los procesos de modelización. Podría pensarse que la razón principal de las discrepancias se debe a que los científicos que desarrollaron los modelos aquí presentados pertenecen a comunidades científicas diferentes. Pero, para que esta estrategia tenga éxito, se tendrá no solo que establecer criterios claros para la configuración de las respectivas comunidades, sino también brindar una explicación de por qué dichos criterios, y no otros, resultan significativos para segmentar una misma comunidad científica en diferentes comunidades. En esta sección veremos que, para el caso de los modelos presentados, esto no resulta claro ni distinto.

En el marco de la discusión en torno a los modelos EV y OM, tradicionalmente la disputa ha sido enmarcada entre aquellos que, como Heitler-London-Pauling-Slater, abogaban por un enfoque afín a los métodos instituidos por el enlace de valencia y aquellos que, como Hund y Mulliken, insistían en un enfoque molecular –holista– del enlace. Desde esta perspectiva, la diferencia radicaría en que mientras que el modelo del enlace de valencia sería más cercano a la química estructural clásica, el modelo de orbitales moleculares sería más cercano a la mecánica cuántica, es decir, más cercano a la física⁴².

El inconveniente que trae aparejada esta estrategia argumentativa es que no resulta claro ni distinto el modo en que deben establecerse los lazos identitarios necesarios para la configuración de las respectivas comunidades científicas. La dificultad manifiesta que supone definir los lazos identitarios relevantes que conforman el sentir de una comunidad (científica) queda evidenciada si se toma en consideración un trabajo de tinte histórico escrito también por Gavroglu y Simoes (2012a), intitulado “The Americans, the Germans, and the beginnings of quantum chemistry: The confluence of diverging traditions”. En este artículo los autores proponen, en lugar de contraponer a Pauling y Mulliken en comunidades opuestas, incluir a ambos como siendo parte de una misma comunidad americana, más pragmática, y partidaria de modelos semi-empíricos; en oposición a una comunidad alemana que, conformada principalmente por Heitler y London, estaba mucho más interesada en construir resoluciones *ab initio*.

⁴² *Mutatis mutandi* para la electronegatividad.

El carácter netamente semi-empírico de los trabajos desarrollados por Pauling y Mulliken, que los haría formar parte de la misma comunidad, puede expresarse apelando al título de la obra escrita también por Gavroglu y Simoes (2012a), *Neither Physics nor Chemistry* (2012b). En términos no literales, ni Pauling ni Mulliken eran tan “químicos” ni tan “físicos”; es decir, ni abogaban por una química que desconociera los principios de la mecánica cuántica, ni abogaban por una física que no considerara el cuerpo de conocimiento independiente generado por la química. En efecto, Pauling no era “tan químico (clásico)” ya que, tal como lo hizo saber en una carta enviada a Noyes, expresaba su convencimiento de que la aplicación de la mecánica cuántica era imprescindible para la resolución de los problemas químicos (cfr. Pauling 1926). A su vez, Pauling tampoco era “tan físico”, ya que era consciente de que la física teórica, para ser aplicada al campo de la química, requería de una serie de aproximaciones, reglas y suposiciones, provenientes del campo experimental acerca del comportamiento de los compuestos químicos, que hubiera inhibido a cualquier físico teórico. Del mismo modo, si bien es cierto, tal como el mismo Mulliken manifiesta, que su punto de vista puede resultar más afín a la física (cfr. Gavroglu y Simoes 2012a), ello no supone ni que el trabajo de Mulliken tuviera un interés primariamente físico, ni que por ello no pudiera formar parte, junto con Pauling, de una tradición pragmática interesada en ajustar los parámetros de la física a la química. Como el mismo Mulliken lo expresó, él estaba más interesado en “conocer mejor las moléculas que la teoría abstracta sobre ellas” (Mulliken 1989, p. 59).

En conclusión, y sin desmerecer las diferencias internas entre Mulliken y Pauling en relación con los abordajes de los problemas químicos, Gavroglu y Simoes consideran que estos dos científicos conforman una misma tradición o comunidad, precisamente porque en ambos casos se apela a mecanismos semi-empíricos en los que confluyen argumentos químicos y datos empíricos que, junto con la mecánica cuántica, brindan los elementos necesarios para la construcción de un marco teórico adecuado para explicar la estructura molecular.

Pero por otro lado, la razonabilidad de desarraigar a Pauling del seno de la comunidad desarrollada por los padres del modelo de EV, es decir, la legitimidad de no incluir a Pauling, junto con London y Heitler, dentro de la misma familia por el hecho de abogar

en favor de EV, subdividiendo las comunidades entre aquellos que aceptan soluciones semi-empíricas y aquellos que no, puede fundamentarse sobre la base de una serie de intercambios epistolares entre Heitler y London. El 6 de febrero de 1936, Heitler analiza los trabajos realizados por Pauling del siguiente modo: “estaba buscando formas de devorar la llamada teoría Slater-Pauling. Estos tipos están tan orgullosos de algo que no es tan malo, pero que, bajo ninguna circunstancia, es tan distinguido. (...) Es una bifurcación de nuestro trabajo, más o menos desde el punto en que suponemos estrictamente que los átomos están en un solo estado. En general, creo que cometimos el error de dejarlo en manos de los químicos ” (citado en Gavroglu y Simoes 2012b, p. 102). Y unos meses después, ya cansado por el modo en que fue tratada su teoría por parte de los químicos estadounidenses, manifiesta que “en última instancia, la presión para hacer lo necesario recae sobre nosotros. Lo que se necesita para evitar que los más peligrosos de nuestros colegas, aquellos, en otras palabras, que trabajan con nuestro método, falsifiquen la historia (Eyring, Pauling, etc.), es un buen libro estándar. ¿No querías escribirlo?” (citado en Gavroglu y Simoes 2012b, p. 104).

Asimismo, el nuevo criterio clasificatorio establecido por Gavroglu y Simoes entre las distintas comunidades científicas, no solo estaba justificado por la falta de reconocimiento hacia Pauling por parte de London y Heitler, sino también por la profunda desconfianza que existía hacia las crudas aproximaciones realizadas por los químicos. Desconfianza que imposibilitaba que cualquier físico teórico pudiera realizar el tipo de rectificaciones requeridas para la formulación de una heurística fructífera para la química. En una carta que London le escribe a Heitler, el autor afirma que, aun cuando ellos ya habían mostrado el marco mecánico-cuántico apropiado, “el químico está hecho de madera dura y necesita tener reglas aunque sean incomprensibles.” (citado en Gavroglu y Simoes 2012b, p. 100). En el mismo sentido, pero mostrando una mayor animadversión por los planteamientos de los químicos americanos, Heitler, en relación al modo que fue tratada su teoría, expresa que “puede ser cierto para algunas personas en Estados Unidos. Sin embargo, no todas las personas son sinvergüenzas (por ejemplo, no lo creería para Van Vleck), sino solo tontas y perezosas. Y debemos aceptar que nuestra teoría era bastante complicada.” (citado en Gavroglu y Simoes 2012b, p. 100).

Todo lo expresado sirve para poner en consideración que, en definitiva, el intento de subdividir las comunidades científicas como formato explicativo de los diferentes modos en que se presentan las representaciones científicas requiere de un paso previo que no ha sido suficientemente justificado, a saber: brindar criterios claros que permitan identificar los lazos identitarios de las respectivas comunidades. Dado que son los partidarios del perspectivismo quienes intentan aplazar los conflictos generados por los modelos incompatibles apelando a comunidades o escuelas diferentes, resulta razonable estipular que la carga de la prueba está en aquellos que, parafraseando a Kuhn, promulgan comunidades que “hablan” u “observan”, respectivamente, lenguas o mundos distintos. En este sentido, creemos que es suficiente con mostrar que esta estrategia resulta deficiente dado que no existe un solo modo de establecer fronteras comunitarias; o quizás, y peor aún, ni siquiera existan tales fronteras. Ante una pregunta formulada por Thomas Kuhn en relación a si la tradición inaugurada por Heitler y London y aquella que se instituyera a partir del modelo de OM constituían escuelas diferentes con tradiciones diferentes, Mulliken respondió que “no lo sabía. La forma en que estaba pensando no era en términos tales como para notar las cosas en ese marco. Diría que había algunas personas que eran más fuertes para una cosa que para otra, pero no sé si eran más abundantes en un lugar en particular” (citado de Gavroglu y Simoes 2012a, p. 108).

En conclusión, ninguno de los elementos incluidos en la máxima perspectivista pueden considerarse responsables de una incompatibilidad meramente aparente en los casos de los modelos de electronegatividad y de enlace químico.

Capítulo 4

¿Quién le teme al instrumentalismo?

Resumen: En el capítulo anterior hemos desestimado el perspectivismo como una salida filosófica viable para el caso de los modelos presentados. Sin embargo, para poder fundamentar las razones de un nuevo, renovado y legítimo instrumentalismo, resta considerar algunas otras propuestas filosóficas que, ya sea en el campo de la filosofía general de la ciencia o en el campo específico sobre la representación, tienen una fuerte influencia en la cosmovisión actual sobre cómo deben interpretarse las prácticas científicas. En este sentido, en la Sección 4.1 evaluaremos el pluralismo científico en sus diferentes versiones metafísicas, epistémicas y ontológicas. Intentaremos mostrar que el primero resulta poco aconsejable, el segundo no difiere en demasía del instrumentalismo y el tercero, aunque se constituye como el pluralismo más prometedor, no solo no resulta inmediatamente aplicable al caso de los modelos incompatibles presentados en el capítulo anterior, sino que requiere, para su supervivencia, de una serie de rectificaciones. En segundo lugar, una vez superado el pluralismo, y volviendo a poner el foco en aquellas posturas surgidas del análisis específico del proceso de modelado y la representación, en la Sección 4.2 intentaremos mostrar que la perspectiva inferencialista desarrollada por Suárez es teóricamente insuficiente y no logra constituirse como una legítima perspectiva representacionalista que explique los modelos incompatibles. Con la esperanza de que los argumentos brindados en este capítulo y en el capítulo anterior sean suficientemente poderosos, al final del presente capítulo, en la Sección 4.3, luego de desacreditar al ficcionalismo, intentaremos rescatar el instrumentalismo del descrédito generalizado que supo cosechar en las últimas décadas. Para ello analizaremos sus diferentes versiones, configurando aquella que consideramos como la versión más prometedora para analizar los modelos incompatibles en la práctica científica.

4.1 ¿Qué decir de los pluralismos científicos?

Como señalamos en el capítulo anterior en el contexto del análisis del perspectivismo, parece un hecho incuestionable de la actividad científica que existe una pluralidad de teorías científicas, de metodologías y de modelos alternativos (Longino 2006). A su vez, esta diversidad es ubicua a toda disciplina y teoría científica: no solo conviven múltiples teorías científicas dentro de cada disciplina, sino que también hallamos múltiples modelos en el interior de cada teoría. En efecto, el desarrollo de la ciencia y la evidencia empírica han enseñado que no existe, hasta el momento, una teoría o un abordaje único que brinde una comprensión completa y unificada de todos los fenómenos naturales. Tal pluralidad al seno del conocimiento científico parece ser una condición necesaria para la actividad científica y la propia adecuación empírica. A pesar de que se acepte sin controversias este hecho, y a pesar de que algunos filósofos de la ciencia contemporánea hayan celebrado la legitimidad de esta multiplicidad de perspectivas como motor del propio desarrollo de la ciencia (Chang 2012), surgen ahora diversos problemas filosóficos en torno a las propuestas netamente pluralistas: ¿cuán legítimo es y cómo justificar una aserción metafísica, ontológica o epistémica de dicha pluralidad?; ¿acaso la pluralidad representa un aspecto esencial del conocimiento científico o es simplemente un síntoma de su inmadurez? Dejando de lado el perspectivismo, que simplemente supone que una misma realidad es escorzada desde diferentes perspectivas producto de la parcialidad del modelado, y adentrándonos en propuestas filosóficas que reifican la pluralidad, surgen otras preguntas de tipo ontológico y metafísico que devienen inquietantes: si nuestras teorías científicas exitosas son una descripción (aproximadamente) verdadera de la realidad, dicha pluralidad de teorías, modelos y abordajes científicamente exitosos ¿recogen una característica de *la realidad misma*?, ¿podemos concluir que la realidad en sí misma es plural o deberíamos decir que la realidad que se muestra pluralmente es una realidad constituida? Y si así fuera, ¿cuán plural es? Es decir, asumiendo desde el pluralismo que la pluralidad e incompatibilidad de teorías y modelos científicos (incluso implicando cierta incompatibilidad entre ellos) parece sugerir que no es posible dar cierta unidad al conocimiento científico y a la realidad, ¿es posible y legítimo aceptar una realidad plural que no cesa de multiplicarse?

Para poder responder algunas de estas preguntas, y dado el carácter plural del pluralismo, quizás resulte primeramente conveniente contraponerlo con su antítesis, el monismo científico, ya que en función de cuál de las diferentes tesis se rechace del monismo se constituirán los diferentes tipos de pluralismos existentes. De acuerdo con el monismo científico de corte realista, el objetivo de la ciencia es articular una descripción científica única del mundo. Se suele afirmar que esta posición se compromete con un conjunto de tesis que, si bien son independientes entre sí, hacen a la coherencia de la tesis monista general. Estas son:

- Existe un mundo externo único.
- El mundo está habitado por entidades auto-identificantes o ítems absolutos, independientes del sujeto cognoscente.
- El mundo es –o puede ser– descrito adecuadamente por las ciencias.
- Los enunciados científicos verdaderos corresponden –refieren– a hechos independientes.
- La meta de la ciencia es *La Verdad*, de modo que la ciencia se propone ofrecer una explicación completa y única acerca de la naturaleza de las cosas, es decir, acerca de cómo es el mundo.
- La multiplicidad de teorías científicas, leyes, modelos o metodologías constituye un indicador de inmadurez en el desarrollo de la disciplina científica en cuestión. La pluralidad puede ser –o será– eventualmente reducida a un conjunto único de principios fundamentales.

Esta descripción es una caracterización general del monismo científico y, como tal, puede resultar un tanto imprecisa a la hora de evaluar posturas particulares. Además, no toda posición monista debe comprometerse indefectiblemente con todas y cada una de estas tesis, sino que existe, por supuesto, una pluralidad de monismos. Sin embargo, este listado de tesis resulta suficiente para caracterizar la postura monista en general y, principalmente, resulta útil para identificar las diferencias existentes respecto del pluralismo científico. En este sentido, la descripción un tanto esquemática que aquí ofrecemos del monismo científico resulta adecuada para los fines de la presente sección. En efecto, en oposición al monismo científico, la identidad del pluralismo parece depender del rechazo de muchas de estas tesis monistas. Sin embargo, no hay acuerdo, incluso entre distintas concepciones

pluralistas, respecto de cuáles son las tesis fundamentales con las que el pluralismo debe comprometerse. De hecho, podrían evaluarse los diferentes tipos de pluralismo considerando aquellas tesis monistas específicas contra las cuales se erigen los partidarios del pluralismo. Por ejemplo, mientras Cartwright (1999) instituye un pluralismo de corte netamente anti-fundamentalista o anti-universalista, Lombardi y Pérez Ransanz (2014) sustentan un tipo de pluralismo que pretende ser específicamente anti-externalista y anti-reduccionista. A su vez, podría existir un pluralismo de carácter metafísico que, siendo anti-universalista y anti-reduccionista, no fuera ni anti-fundamentalista ni anti-externalista. Por otro lado, Chang (2012) y Longino (2006) defienden posiciones pluralistas en oposición al intento monista de obturar los múltiples modos posibles en los que los fenómenos pueden ser explicados. Sin embargo, también es posible establecer ciertas diferencias entre diversos pluralismos en función de cómo se los clasifique. Por ejemplo, es posible diferenciar las diferentes versiones del pluralismo científico en función de si suscriben una perspectiva local o global. En este sentido, algunos autores (Kitcher 2001; Mitchel 2002; Kellert et al. 2006) defienden una versión localista del pluralismo científico de acuerdo con la cual, el hecho de que haya regiones de la práctica científica actual donde la pluralidad de enfoques es una necesidad epistémica y metodológica ineludible no implica comprometerse en igual sentido con otras áreas del conocimiento científico. En cambio, otros autores sostienen que el pluralismo científico es, de hecho, una empresa global (Cartwright 1999; Chang 2012; Lombardi y Pérez Ransanz 2014).

Independientemente de las diferencias –a las que nos referiremos en las secciones posteriores– todo pluralismo científico acuerda en que hay más de una descripción *legítima* del mundo. Las ciencias se asemejan más a esas ciudades medievales llenas de calles sinuosas, cuadradas sin forma, atajos estrechos y calles sin salida, que a un plan de urbanización racional. Con esta imagen en mente, el pluralismo argumenta que la plétora de teorías científicas no necesita (ni puede) ser reducida a unas pocas teorías fundamentales. Por lo tanto, aceptar el pluralismo como posición filosófica para dar cuenta del desarrollo de la ciencia implica, aparentemente, aceptar que diferentes teorías científicas pueden ser igualmente *verdaderas*. Pero es necesario elucidar a qué se refieren los pluralistas cuando hablan de “verdad”, dado que precisamente este tópico abre el campo a los diferentes tipos pluralismos: pluralismo metafísico, epistémico y ontológico. En relación con ello, nuestros

objetivos serán los siguientes. En primer lugar, evidenciar que el pluralismo de tinte metafísico no está suficientemente justificado o conlleva a una visión de mundo difícilmente aceptable. En segundo lugar, sostener que el pluralismo epistémico no logra articular los modelos incompatibles de modo tal de instituirse como una alternativa genuina del instrumentalismo. Y en tercer lugar, que el pluralismo ontológico, si bien es la propuesta que mejor representa esta postura filosófica, requiere de cierta rectificación para su desarrollo.

4.1.a Un pluralismo de corte metafísico

Un posible primer y osado pluralismo es aquel que, sin despeinarse, abraza una fuerte tesis metafísica afirmando que la realidad en sí misma es una realidad múltiple y contradictoria y que los enunciados científicos son verdaderos en tanto y en cuanto logran precisamente captar esta pluralidad. Este tipo de pluralismo tiene la ventaja de que, al no tener que amoldarse a los cánones impuestos en el capítulo anterior respecto del perspectivismo, podría fácilmente acomodarse a los casos propuestos afirmando que, de hecho, hay múltiples realidades contradictorias. En efecto, este tipo particular de pluralismo, a diferencia del perspectivismo, no necesitaría licuar o disolver la incompatibilidad explicándola mediante los diferentes elementos involucrados en el proceso de representación. Por el contrario, sentándose directamente sobre la pluralidad manifiesta de propiedades, objetos, eventos o procesos, sugeriría que no es cierto que el conocimiento esté confinado a contextos, sino que aquellas propiedades, objetos o eventos simplemente existen de hecho en forma independiente del sujeto cognoscente.

Ahora bien, la ventaja que supone asumir que los modelos incompatibles no se presentan como contraejemplos, sino como ejemplos probatorios de la postura filosófica pluralista, se logra con un costo que atenta contra aquello que inicialmente se interpretaba como ventaja. En primer lugar, no solo tiene la desventaja de constituirse como la otra cara de la moneda del monismo metafísico ya que no puede justificar, al igual que este, el salto que va desde los criterios epistémicos de evaluación hacia criterios metafísicos, sino que ni siquiera se constituye como una alternativa epistémicamente a la par que el monismo. En efecto, mientras que los realistas monistas, atendiendo los argumentos antirrealistas deben sofisticar su punto de vista aduciendo por ejemplo una continuidad estructural que los salve

de la meta-inducción pesimista, el pluralismo realista de tinte metafísico deviene una perspectiva rudimentaria que, acrítica y simplemente, reifica y naturaliza la práctica científica. Por otro lado, conduce a la infeliz y poco atractiva conclusión de devenir incoherente al asumir la contradicción como un hecho del mundo; mundo que adquiere un carácter esquizoide si se considera la multiplicidad no limitada de teorías y modelos incompatibles. En este sentido, autores como Stephen Kellert, Helen Longino y Kenneth Waters, no dispuestos a tolerar semejante conclusión, plantean que “a los filósofos que abogan por el monismo o el pluralismo moderado les preocupa que tolerar cualquier forma fuerte de pluralismo sea equivalente a tolerar la contradicción (...). Un pluralismo que tolera las inconsistencias es, aparentemente, una invitación a la incoherencia. (Kellert, Longino y Waters 2006, p. xx de la introducción). Precisamente por esto, la amplia bibliografía sobre el pluralismo rechaza esta postura de tinte metafísico abrazando, como veremos en las secciones siguientes, un pluralismo de corte epistémico u ontológico.

4.1.b Un pluralismo de corte epistémico

Chang es probablemente uno de los más famosos defensores del pluralismo científico en la filosofía actual de la ciencia. En su libro *Is Water H₂O?*, argumenta en favor de un “pluralismo epistémico activo normativo”. De acuerdo con esta posición, la verdad objetiva y unívoca no sería una meta de la práctica científica: la ciencia no es la búsqueda de la verdad literal, sino una actividad con muchos y variados propósitos. En esta línea, una posición pluralista sería la que podría conducir a la propia práctica científica a comprometerse en el cultivo de múltiples sistemas científicos y múltiples líneas de investigación. En tanto define una línea de acción para la propia actividad científica, el pluralismo activo-normativo es considerado por el autor una posición *ideológica*.

Además del aspecto activo-normativo de esta posición filosófica, el pluralismo epistémico está basado en tres tesis distinguibles, las que, a su vez, establecen el *dictum* epistémico que mencionamos anteriormente.

- El pluralismo epistémico involucraría algún tipo de antirrealismo científico.

No importa cómo es la realidad, dado que no es posible defender ninguna afirmación metafísica sobre la base del éxito que tienen nuestras mejores teorías científicas. En este sentido, sostiene Chang: “(...) quiero mantenerme libre de toda premisa o conclusión

metafísica *específica*, porque creo que no es posible justificarlas suficientemente bien” y más adelante: “(...) No hago ninguna suposición respecto de la pluralidad en la ontología. Creo que el pluralismo ontológico es una opinión tan inverificable como el monismo ontológico.” (Chang 2012, p. 292).

- El pluralismo epistémico es fundamentalmente epistémico porque las condiciones de verdad de las proposiciones científicas involucran otras proposiciones, un sistema de creencias o conocimiento.

Muchos defensores del pluralismo, a quienes podríamos considerar guiados por esta suerte de dictum propuesto por Chang, han argumentado que, al abandonar el monismo en favor del pluralismo, no podemos mantener una noción de verdad por correspondencia ni podemos asumir ningún tipo de realismo metafísico respecto de las ciencias. En este sentido, uno de los desacuerdos más importantes entre monistas y pluralistas epistémicos se debería al hecho de que defienden diferentes nociones de verdad: mientras el monismo científico implica una concepción de la verdad compatible con el realismo –por ejemplo, una teoría correspondentista de la verdad–, el pluralismo epistémico solo podría comprometerse con una versión epistémica de la verdad. Esto conduciría a una vertiente pluralista con mínimos compromisos ontológicos, o con ninguno. Sin embargo, las posturas pluralistas que consideramos más interesantes y que luego evaluaremos, en tanto posibles adversarios del monismo, son las que han logrado articularse, en el último tiempo, en contra de este dictum, asumiendo un compromiso ontológico más fuerte. Pero antes de abordar esta cuestión, retomemos el análisis del pluralismo epistémico. Chang afirma: “Reconocemos un enunciado como verdadero dentro de un sistema de prácticas [...]. Los veredictos solo son definitivos dentro de un sistema dado, y la verdad en este sentido descansa, ante todo, en la coherencia con el resto del sistema” (Chang 2012, p. 242). Las proposiciones científicas no son verdaderas porque se refieren a hechos externos que son los responsables de su verdad, sino que son verdaderas porque satisfacen ciertas condiciones epistémicas, como la coherencia con el resto del sistema.

- El pluralismo epistémico está guiado por un *espíritu pragmático*.

Es aconsejable que la actividad científica mantenga vivas múltiples líneas de investigación en lugar de seguir solo una. Dado que no es posible encontrar el sistema perfecto, deben cultivarse múltiples sistemas. En este sentido, una ciencia basada en un espíritu pluralista es

mejor que una basada en valores monistas, pues una perspectiva monista, al promover una mirada unívoca del mundo, suele privilegiar un punto de vista particular, obturando así el desarrollo de líneas de investigación secundarias.

Estas tres tesis constituyen y permiten sostener el edificio pluralista epistémico, al propio tiempo que refuerzan el *dictum* de Chang: en tanto el pluralismo implica una noción epistémica de verdad y es compatible con cierto antirrealismo, cualquier tipo de pluralismo científico no podría sino ser epistémico.

Ahora bien, ¿cuál es el alcance del pluralismo epistémico y por qué no colapsa con el instrumentalismo? En primer lugar, cabe destacar que cualquiera que esté interesado en los problemas filosóficos metafísicos que emergen del análisis de la ciencia se sentirá desilusionado por el pluralismo epistémico, en la medida en que esta posición no asume ningún compromiso metafísico, sino que más bien evade toda referencia a los mismos. El pluralista epistémico está convencido de que no es un objetivo primordial de la práctica científica describir la realidad ni establecer una verdad por correspondencia de ningún tipo. En otros términos, a la ciencia no le interesa cómo es el mundo, dado que el éxito científico depende de diversos criterios o virtudes epistémicas –como la coherencia, la predictibilidad, la simplicidad o la sistematicidad– (cfr. Chang 2012). En consecuencia, es posible defender un pluralismo epistémico que se comprometa con la idea monista de una única ontología, pero que abandone la pretensión de conocerla. En sentido estricto, en cuanto a los compromisos metafísicos u ontológicos se refiere, en el pluralismo epistémico no habría ninguna novedad, sino, por el contrario, simplemente, una suerte de agnosticismo sutil respecto de cómo es el mundo a la luz de las ciencias. El pluralismo epistémico se opone al monismo científico en relación con cuáles son los valores y métodos que importan en la actividad científica. Es decir, al igual que el instrumentalismo, solo discrepa con el monismo en cuanto a cuáles son las tareas y las metas de la práctica científica.

En este sentido, no solo el pluralismo epistémico resulta demasiado débil para erigirse en una posición superior capaz de desafiar el monismo científico, sino que, cuando lo hace, no lo hace en términos muy distintos del instrumentalismo. En efecto, si el pluralismo epistémico se percibe como antirrealista, no pretende entender cómo es el mundo, ni considera que el objeto de la ciencia sea el establecimiento de la verdad ¿por qué se resiste a interpretarse como una de las tantas versiones instrumentalistas? En la Sección 3, titulada

“¿Quién le teme al instrumentalismo?”, intentaremos brindar un diagnóstico y una explicación del motivo por el cual existe actualmente tal repulsión hacia el instrumentalismo; repulsión que logró una magnitud tal como para que se promoviera la necesidad de crear nuevos nombres y nuevas etiquetas con la sola pretensión de no “caer” en esta difamada categoría.

Pero, cuando se evidencie que el instrumentalismo no requiere asumir que las teorías científicas no son más que meros instrumentos, ni tampoco requiere negar que los enunciados científicos sean susceptibles de ser verdaderos o falsos, y cuando se considere, también, que el instrumentalismo puede suponer que la sistematicidad, la coherencia pragmática (algo que Chang termina abrazando acaloradamente, cfr. Chang 2018, 2022) y la simplicidad son valores que contribuyen a la predictibilidad y la aceptabilidad de las teorías, entonces se podrá concluir que las diferencias no son ni tan reales ni tan profundas. A su vez, por su contraparte, en qué se diferencia del instrumentalismo si el pluralismo epistémico también rechaza como infecunda cualquier discusión metafísica, no se anima a instituir una ontología constituida, asevera que el saber es una habilidad más que un saber proposicional, y, ante modelos incompatibles, no da un marco explicativo para comprender tal incompatibilidad sino que lo acepta como tal bajo el pretexto de fomentar la pluralidad y el desarrollo de investigaciones científicas. En conclusión, como veremos en la Sección 3, en su primera versión el pluralismo de Chang (2012) no dista en demasía del instrumentalismo clásico, y en su segunda versión de tinte pragmatista (Chang 2018, 2022) no dista mucho del instrumentalismo de Fine.

4.1.c Un pluralismo de corte ontológico

La filosofía de la ciencia contemporánea muestra, a su vez, que existen posiciones intermedias que evidencian que el *dictum* de Chang es innecesario y el pluralismo metafísico resulta impropio y exagerado. En efecto, algunos autores, como Cartwright (1994a, 1999), Lynch (1998), Dupré (1993) y Lombardi junto con Pérez Ransanz (2014), han desarrollado posiciones pluralistas realistas pero de corte ontológico. Estas versiones ontológicamente más robustas del pluralismo científico no solo pretenden abordar con profundidad cuestiones ontológicas que se seguirían de la pluralidad en las ciencias, sino que también procuran mantener una concepción de la verdad como correspondencia que no

implique la imprudente afirmación de que los enunciados científicos, al corresponderse con la realidad, develan una realidad independiente y auto-identificada. Es decir, sobre la base de una intuición realista, el pluralismo ontológico afirma que no es necesario constituir un pluralismo meramente epistémico para mantener una posición filosófica coherente y adecuada para comprender el desarrollo de la ciencia, ni desvariar en propuestas de tipo metafísicas que devengan incoherentes.

En este sentido, como afirman Lombardi y Pérez Ransanz, el pluralismo ontológico aboga en favor de una noción realista pero no metafísica de la verdad. Las autoras sostienen que “rechazar el realismo metafísico no exige abandonar toda forma de correspondencia en la caracterización de la verdad, sino solo la correspondencia metafísica entre el lenguaje y el mundo «tal como es en sí mismo», esto es, el mundo «ya hecho». En particular, un realismo de filiación kantiana puede recuperar una forma de correspondencia entendida como adecuación con la ontología constituida desde un cierto esquema conceptual” (Lombardi y Pérez Ransanz 2014, p. 50).

El pluralismo ontológico, entonces, parece erigirse sobre dos tesis fundamentales: el compromiso con una pluralidad en el mundo, y una noción realista de verdad, incluso en una versión correspondentista.

Pero, dado que la verdad se entiende en términos correspondentistas y que la pluralidad presente en el ámbito científico no es consistente, entonces el pluralismo ontológico, so pena de hacer explotar la realidad en un universo multiforme y contradictorio en sí mismo, requiere de una tercera tesis. Esta tercera tesis tendrá que anular la posibilidad de que dos enunciados contradictorios sean *literalmente verdaderos* al mismo tiempo respecto del mismo fenómeno:

- Las teorías no son verdaderas *simpliciter*, sino que son verdaderas dentro de un dominio o un marco conceptual determinado, son verdades de una realidad constituida como producto de la interacción entre la realidad en sí misma y los esquemas de referencia⁴³.

Precisamente, circunscribiendo las verdades a ciertos dominios, esquemas o situaciones específicas, se pretende evitar el compromiso con contradicciones *simpliciter*. Pero ¿qué

⁴³ Precisamente esto diferencia al pluralismo ontológico del perspectivismo. En el perspectivismo el mundo es uno pero las diferentes perspectivas, siempre parciales, lo recortan en diferentes escorzos.

dice el pluralismo ontológico respecto de la realidad *nouménica* que difiera sustancialmente del monismo científico? Resulta claro que el pluralismo ontológico y el monismo son dos posiciones diferentes en general. El punto oscuro, sin embargo, es, son dos posiciones diferentes ¿acerca de qué? Una intuición que prevalece es que el pluralismo ontológico se desliza desde la ontología hacia la epistemología y, al hacer esto, cambia ligeramente el entendimiento acerca de cuál es el objetivo de la ciencia. En la medida en la cual el pluralismo sostiene que las teorías científicas refieren exclusiva y únicamente a realidades constituidas, afirma que la realidad absoluta es incognoscible para las ciencias. Este es el verdadero punto de divergencia entre el pluralismo ontológico y el monismo o el pluralismo metafísico: mientras el monismo o el pluralismo metafísico afirman que la realidad absoluta es cognoscible, el pluralismo ontológico (al estar inspirado en la filosofía kantiana y basarse en una estructura correlacional) se ve obligado a admitir que tal realidad absoluta, aunque existente, yace más allá de los límites de lo que podemos conocer. Por lo tanto, para no caer en una postura instrumentalista de las teorías científicas, se ve forzado a admitir que el conocimiento efectivo que nos brindan las ciencias no es conocimiento acerca de la realidad *nouménica*, sino de las realidades constituidas.

Sin embargo, en este punto las diferentes versiones pluralistas comienzan sutilmente a diferenciarse respecto de qué tipo de condicionantes privilegian y cómo entienden y definen el marco referencial dentro del cual se constituyen los enunciados científicos.

Por un lado, Cartwright (1980, 1983), adoptando un punto de vista modelístico, afirma que las leyes se aplican a dominios específicos. Las leyes científicas son falsas si las consideramos en su formato ideal tal y como suelen formularse; en cambio, son verdaderas, *literalmente* verdaderas –sostiene–, si las consideramos en los modelos específicos en los cuales se aplican. Las teorías no son válidas más que en esos modelos que se constituyen como “máquinas nomológicas”, las cuales crean las condiciones requeridas para que se produzca el comportamiento legal pertinente. Por fuera de estas máquinas nomológicas, las leyes son falsas: “Las leyes fundamentales no gobiernan los objetos en la realidad; solo gobiernan objetos en modelos” (Cartwright 1983, p. 18). Mientras las leyes fundamentales son conceptos abstractos, “reglas del lenguaje” mediante las cuales una teoría provee un vocabulario que en sí mismo no refiere a ningún evento en particular ni describe nada

verdadero sobre el mundo, los modelos producen circunstancias artificiales específicas donde las leyes pueden aplicarse.

La parcialidad y no-universalidad de las explicaciones científicas se deben a las diversas cláusulas y condiciones que hacen que la verdad de los enunciados científicos solo pueda determinarse en relación con un marco experimental específico. A partir de esta idea, Cartwright introduce su concepción pluralista: un mundo “veteado”, compuesto de *retazos* e imágenes fragmentadas que se niega a ser explicado mediante categorías unificadoras, un mundo multifacético que tiene que ser descrito de un modo acorde: “la naturaleza está gobernada en diferentes dominios por diferentes sistemas de leyes que no están necesariamente relacionadas entre sí de una manera sistemática o uniforme” (Cartwright 1994b, p. 289). Este pluralismo es principalmente anti-fundamentalista y anti-universalista en tanto enfatiza la necesidad del uso de modelos parciales con los cuales la teoría se valida. Pero no es un pluralismo metafísico ya que la razón de su anti-fundamentalismo se basa en la apelación a una concepción kantiana del conocimiento: “mi defensa del realismo –realismo local acerca de una variedad de diferentes tipos de conocimiento en una variedad de dominios diferentes en un rango de situaciones altamente diferenciadas– tiene una estructura kantiana” (Cartwright 1994b, p. 279).

Queda claro que la peculiaridad distintiva de su estrategia radica en que no justifica su pluralismo sobre la base de una definición amplia u omnipresente de esquema conceptual, sino sobre la base de conocimientos locales y específicos, dados en y por situaciones experimentales particulares. Ahora bien, si el marco de referencia que habilita la pluralidad se configura en torno del proceso de modelización y si los modelos involucran una cantidad no limitada de elementos provenientes del campo experimental, de los propósitos de la investigación, de las idealizaciones instituidas y de cualquier tipo de rectificación establecida con objeto de perseguir el fin deseado ¿cuál es el límite de la pluralidad? Dada la multiplicidad de modelos existentes y posibles de configurar ¿resulta lícito o deseable constituir una ontología sustentada sobre los modelos? Como afirma Chakravartty, una de las consecuencias no deseadas de este pluralismo es que, en lugar de explicar lo complejo mediante lo simple, explica lo complejo con algo aún más complejo que hace explotar la realidad en una multiplicidad sin límites, con límites desconocidos o con límites lábiles sujetos a los propósitos del investigador, Este tipo de pluralismo ontológico

fundamentado en los modelos “crearía un mundo revuelto de Frankenstein de hechos o estados de cosas, sin el beneficio que incluso el monstruo de Frankenstein disfrutaba de tener todas sus partes, que de otro modo serían incongruentes, trabajando juntas en consorte, como si fueran perfectas” (Chakravartty 2017, p. 186).

Esta crítica nos permite introducir la última variante del pluralismo ontológico. Este tipo de pluralismo configura una realidad constituida a partir de esquemas conceptuales que delimitan, ahora sí, para cada uno de ellos, una realidad autocontenida que trabaja junta en consorte como si fuera perfecta. Este pluralismo ontológico depende cabalmente de la noción de esquema conceptual y, en particular, de una noción de esquema conceptual de inspiración kantiana. Si bien fue Emmanuel Kant quien introdujo en filosofía la noción de esquema conceptual como una condición trascendental del conocimiento, probablemente debemos a Rudolf Carnap su introducción en el campo de la filosofía de la ciencia. Carnap traza una distinción entre preguntas *internas* y preguntas *externas* y, sobre la base de dicha distinción, afirma que “ser real en el sentido científico es ser un elemento en un marco lingüístico (...). Es decir, esta es una pregunta interna (...). La pregunta externa por la realidad de la cosa –del mundo en sí mismo– no puede ser respondida porque está formulada de modo incorrecto” (Carnap 1950, p. 21). De manera que, según Carnap, las preguntas acerca de la existencia de entidades, o acerca de la verdad de las leyes naturales, solo pueden ser formuladas dentro de un determinado *marco lingüístico*.

Independientemente de la discusión acerca de si Carnap defendió o no una suerte de pluralismo ontológico, esta concepción carnapiana permite relativizar afirmaciones de verdad o falsedad a marcos o esquemas lingüísticos, evitando así posibles contradicciones *simpliciter*. Sin embargo, posiciones filosóficas pluralistas contemporáneas han adoptado y defendido una noción de esquema conceptual que, no sustentándose en marcos lingüísticos, resulta más constitutiva, más kantiana y más prometedora. Lynch argumenta que “de acuerdo con el tipo de pluralismo que he defendido (...), las condiciones bajo las cuales una proposición es verdadera están parcialmente determinadas por el esquema conceptual en el cual la proposición es expresada” (Lynch 1998, p. 139). Asimismo, Lombardi y Pérez Ransanz defienden un pluralismo ontológico de raíces kantianas según el cual cada esquema conceptual es responsable de la constitución de su propia ontología. En este sentido, las autoras afirman que “no se trata de establecer qué es lo que realmente existe; el

problema está en aceptar que todo aquello que llamamos ‘objeto’, del tipo que sea, está constituido en el marco de nuestro esquema categorial y es, por tanto, ‘objeto para nosotros’” (Lombardi y Ransanz 2014, p. 23).

Por lo tanto, aunque el pluralismo ontológico afirme que la naturaleza o el mundo tienen un carácter intrínsecamente plural, la noción de “naturaleza”, “realidad” o “mundo” debe ser entendida en términos de una estructura correlacional: ya no se trata del mundo *en sí mismo* o de la realidad tal cual es *en sí misma*, sino que sus propiedades (y el acceso a ellas) está mediada por los esquemas conceptuales o marcos lingüísticos. Una pregunta por la realidad en sí misma equivaldría a una pregunta formulada *desde afuera* de cualquier esquema conceptual, lo cual violaría los principios de cómo se constituye el conocimiento científico. Por lo tanto, las preguntas externas carnapianas o las preguntas sobre la realidad *nouménica* no tienen sentido, pues yacen más allá de lo que podemos conocer o expresar⁴⁴.

Al determinar el conocimiento científico dentro de esquemas conceptuales, todo enunciado científico acerca del mundo es un enunciado acerca del mundo que debe ser valuado en el marco de *ese* esquema conceptual, y nunca fuera de él. De este modo, el pluralismo ontológico se compromete con dos tipos de pluralidades irreductibles: hay una pluralidad de esquemas conceptuales y una pluralidad de realidades constituidas por medio de dichos esquemas. La relación entre ambos planos, tal como mencionamos anteriormente, es conocida usualmente como una estructura correlacional: las teorías científicas son formuladas y desarrolladas dentro de un esquema conceptual específico, y refieren a la

⁴⁴ Independientemente de la discusión acerca de si Carnap defendió una suerte de pluralismo ontológico (cfr. Eklund 2009, Neuber 2018), esta caracterización puede resultar iluminadora para mostrar, tal como expondremos en el Capítulo 5, que el positivismo lógico fue injustamente bastardeado cuando expresaba que la pregunta metafísica no tiene sentido. El pluralismo no difiere en demasía, al menos en cuanto a la pregunta metafísica se refiere, de las posturas no caricaturizadas del positivismo lógico ya que ambas tenían el mismo enemigo: el realismo metafísico. En 1926 Schlick asevera que “no es posible formular conceptualmente qué es propiamente la existencia o la realidad. (...) No tenemos nada en contra de que alguien atribuya significado a tal pregunta, pero debemos insistir con todo énfasis en que esto no se puede afirmar.” (Schlick 1926, p. 100). A su vez, en 1931 refuerza el concepto del siguiente modo: “cualquier conocimiento que podamos tener del 'Ser', de la naturaleza más íntima de las cosas, se obtiene enteramente por medio de las ciencias especiales; son la verdadera ontología, y no puede haber otra. Cada proposición científica verdadera expresa de alguna manera la naturaleza real de las cosas; si no lo hiciera, simplemente no sería verdad” (Schlick 1931, pp. 301). Y un año después afirma “Para resolver la disputa sobre el realismo, es de la mayor importancia alertar al físico sobre el hecho de que su mundo externo no es otra cosa que la naturaleza que también nos rodea en la vida diaria, y no es el "mundo trascendente" del metafísico. La diferencia entre los dos es [...] particularmente bastante evidente en la filosofía de Kant.” (Schlick 1932, p. 278).

realidad específica que es constituida por tal esquema conceptual. Consecuentemente, las condiciones de verdad de las proposiciones científicas deben hallarse dentro de los marcos configurados por los esquemas conceptuales y sus respectivas ontologías. Bajo esta estructura correlacional promocionada por las versiones más robustas del pluralismo ontológico, la noción de verdad por correspondencia cobra un sentido ligeramente distinto: ya no se trata de la relación entre un enunciado y el mundo como es en sí mismo, sino de la relación entre un enunciado formulado en un esquema conceptual o marco lingüístico, y la ontología constituida por tal esquema conceptual o marco lingüístico. En este sentido, dos enunciados científicos pueden ser contradictorios, y sin embargo igualmente verdaderos, porque los hacedores de verdad de tales enunciados corresponden a ontologías distintas configuradas por diferentes esquemas conceptuales.

El pluralismo ontológico puede no resultar, por lo menos en sus versiones estándar, inmediatamente aplicable para los casos analizados en el Capítulo 3 debido a que, como ya hemos mostrado, al compartir el mismo marco teórico, las mismas técnicas experimentales, al el ser parte de una misma comunidad y al compartir una misma matriz disciplinar, es difícil justificar sobre qué fundamentaría la discrepancia de las realidades constituidas. No obstante, resulta necesario, atendiendo el ímpetu, justificado, que ha tenido el pluralismo ontológico en la bibliografía actual, evaluar en detalle, más allá de la dificultad concreta que presenta para los casos mencionados, qué es un esquema conceptual y si efectivamente constituye una buena solución al problema de los modelos incompatibles.

4.1.c.1 Límites conceptuales del pluralismo ontológico

En la sección anterior hemos advertido la importancia que adquiere la noción de *esquema conceptual* para legitimar aquellas posturas pluralistas que pretenden ser realistas: las incompatibilidades existentes en el ámbito científico se desvanecen, precisamente, cuando las mismas son enmarcadas en diferentes esquemas conceptuales. Ahora bien, lo que intentaremos mostrar es que esta perspectiva, si bien sumamente prometedora, requiere de una serie de rectificaciones en relación con la identificación de los esquemas conceptuales para no sucumbir ante un mar de contradicciones ininteligibles.

Deben reconocerse, entonces, ciertos elementos constitutivos –los que deben poder ser adecuadamente explicados e identificados– para que el pluralismo ontológico logre mayor legitimidad. En primer lugar, el *noúmeno*, que se constituye como límite y garante de la

objetividad –y fundamento del carácter realista de la postura. En segundo lugar, debemos poder identificar el esquema conceptual, que habilita la posibilidad misma del pluralismo. En tercer lugar, contamos con la ontología constituida (los *fenómenos*, en términos kantianos), que resulta de la síntesis entre la multiplicidad sensible y un determinado esquema conceptual. Esta ontología constituye el auténtico objeto de conocimiento. En cuarto y último término, tenemos las teorías científicas que, en el marco de un esquema conceptual, serán verdaderas o falsas en tanto se correspondan o no con aquella realidad constituida (fenoménica). En esta sección nos ocuparemos de un tema que, sin dudas, demanda discusión: cómo diferenciar entre esquema conceptual y teoría científica.

Para la propuesta pluralista resulta imprescindible poder responder la pregunta de cómo identificar un esquema conceptual: toda propuesta de este tipo debe ser capaz de especificar qué clase de conceptos constituyen y qué clases de conceptos no constituyen la configuración de un esquema conceptual. Ambas preguntas se complementan porque lo que se requiere es tener criterios claros que nos permitan distinguir meras discrepancias dentro de un esquema conceptual de aquellas que suponen un quiebre o ruptura de esquema. En términos generales, el primer caso sucede cuando tenemos dos o más teorías científicas en disputa que pretenden explicar o describir la misma ontología constituida, es decir, la que se da en el marco de un esquema conceptual dado. El segundo caso supone, en cambio, la condición de posibilidad del pluralismo mismo: la existencia de dos esquemas conceptuales que conviven dentro de una o varias disciplinas científicas. Si bien es cierto que esta formulación general y abstracta no pareciera generar problema alguno, el inconveniente surge cuando intentamos, concretamente, clarificar y diferenciar teoría científica de esquema conceptual. Advertamos que si esta tarea fracasa, ambas nociones colapsarían, y junto con ello, por devenir trivial, colapsaría también el pluralismo ontológico. Como afirman Lombardi y Pérez Ransanz: “si la ontología estuviera constituida por el esquema conceptual de una teoría, dicha ontología *ipso facto* validaría sus afirmaciones sobre el mundo, y por lo tanto la teoría se auto-validaría, lo cual resulta absurdo. La objeción puede enfrentarse sin mayor dificultad si se tiene clara la distinción entre ‘esquema conceptual’ y ‘teoría’” (Lombardi y Ransanz 2014, p. 70). En efecto, si la teoría científica es la que se contrasta con la ontología constituida, y esta es, a su vez, producto de la actividad sintética

dada por un esquema conceptual, no poder diferenciar teoría científica de esquema conceptual sería fatal para cualquier tipo de pluralismo ontológico.

Podría afirmarse que un esquema conceptual configura una taxonomía que permite determinar, entre otras cosas, el tipo de entidades a considerar. Detengámonos entonces a pensar esta propuesta: consideremos una serie de ítems X_1 ; X_2 ; X_3 ; la pregunta es: ¿cuántos objetos hay? Evidentemente, no hay una sola respuesta. Un individuo A puede afirmar que hay tres objetos: X_1 , X_2 , X_3 . Sin embargo, otro individuo B, que considera que la suma de los ítems también constituye objetos, aseveraría la existencia de siete objetos: $X_1 + X_2$; X_3 ; $X_1 + X_2$; $X_1 + X_3$; $X_2 + X_3$; $X_1 + X_2 + X_3$. El pluralista, conforme con esta perspectiva, diría que la pregunta, como queda demostrado en el ejemplo, no puede responderse en términos absolutos, es decir, no puede hacerse sin considerar algún esquema de referencia. A y B están inscriptos en diferentes esquemas conceptuales, producto de sus discrepancias en torno a la noción de *objeto*. Así, en el esquema conceptual de A la oración “Hay 3 objetos” es verdadera mientras que la oración “Hay siete objetos” es falsa; mientras que, en B, lo inverso sería el caso.

Pero entonces ¿cuál es el inconveniente? El peligro radica en que bajo esta línea de investigación se podrían multiplicar los esquemas conceptuales en función de la mera yuxtaposición y/o combinación de las variables en juego. Es decir, si introducimos, por ejemplo, una nueva variable, como la noción relativista de espacio-tiempo o la noción newtoniana de espacio y tiempo absoluto, podría haber cuatro esquemas conceptuales; del mismo modo, al introducir dos nuevas variables, como una perspectiva indeterminista o una determinista del mundo, podría haber ocho esquemas conceptuales. Teóricamente, ante la ausencia de algún criterio que permita impedir alguna o algunas de las combinaciones posibles, habría una infinidad de esquemas en función de las variables consideradas. Lo que el pluralista ontológico necesita es poder brindar un marco de unidad en el contexto de un esquema conceptual que le permita dirimir entre tener diferentes *creencias acerca de 'z'* o tener diferentes *conceptos acerca de 'z'*. El primer caso supone una auténtica discrepancia ya que las diferentes creencias acerca de 'z' son en el interior de un esquema conceptual; y en este sentido no toda variable implicaría un cambio posible de esquema. El segundo caso, en cambio, implica la disolución de la discrepancia misma en el marco de diferentes esquemas; cada uno constituyendo su respectiva ontología. Sin esta clarificación, entonces,

el pluralismo se trivializa producto de una multiplicación de esquemas que anula cualquier divergencia genuina.

Sin embargo, lo que termina sucediendo *de facto* es que el límite de las combinaciones posibles está determinado en el marco de las teorías científicas específicas. Consideremos, por ejemplo, el modo en que se entrecruzan las nociones de *individuo* (clásico), *tiempo absoluto*, *espacio absoluto*, *determinismo* e *indeterminismo* en el marco de la mecánica clásica, la mecánica relativista y la mecánica cuántica en su interpretación estándar. El cruce de los conceptos considerados en el marco de las teorías científicas quedaría diagramado del siguiente modo (en donde “x” representa si la teoría contiene o no tales conceptos):

	Individuo	Tiempo absoluto	Espacio absoluto	Determinismo	Indeterminismo
M. clásica	x	x	x	x	
M. relativista	x			x	
M. cuántica		x	x		x

La pregunta relevante es, nuevamente, cómo identificar esquemas conceptuales. Si los mismos se determinan por las categorías que brindan cierto modo de comprender el mundo como las estipuladas en la primera fila, se daría la extraña situación donde, para considerar un ejemplo, respecto del concepto de *individuo* y *determinismo* la mecánica clásica y la relativista pertenecerían al mismo esquema, pero no así en relación con los conceptos de *espacio* y *tiempo absoluto*. En cambio, la mecánica cuántica y la clásica serían parte del mismo esquema en relación con las nociones de *tiempo* y *espacio*, pero no respecto de la noción de *individuo* y *determinismo*. Podría afirmarse que no se piensa el esquema conceptual a partir de un solo concepto sino a partir de una interrelación de conceptos. Sin embargo, en ese caso la pregunta sería por cómo se establecen los lazos que forjan y ensamblan el conjunto de conceptos que de algún modo conforman al esquema conceptual.

El problema podría dirimirse asociando cada teoría con un esquema conceptual. Pero esto nos retrotraería al problema original planteado al comienzo de la presente sección: las teorías se justificarían a sí mismas y habría tantos esquemas conceptuales como teorías en disputa. En el primer caso presentado, virtualmente habría tantos esquemas conceptuales como variables en juego, y en el último caso, se identifican los esquemas conceptuales con las teorías científicas efectivas. Ya sea en uno u otro, la imposibilidad de separar esquema conceptual de teoría científica y de establecer criterios que permitan distinguir los esquemas, constituye una dificultad sustancial para el pluralismo ontológico. En este contexto, cada teoría científica se validaría a sí misma ya que, no pudiendo diferenciarse del esquema conceptual, instituiría su propia ontología.

4.1.d Comentarios finales sobre los pluralismos científicos

A lo largo de esta sección hemos analizado el pluralismo científico como posición filosófica en la filosofía general de las ciencias. Hemos destacado que ciertas posiciones contemporáneas desafían el *dictum* de Chang, negando el carácter meramente epistémico del pluralismo científico: puede defenderse coherentemente un pluralismo más fuerte, un pluralismo ontológico. Respecto del pluralismo epistémico, hemos mostrado que es compatible con algunas versiones del monismo y del instrumentalismo. Luego, nos hemos centrado en el pluralismo ontológico. En este punto, hemos argumentado que el pluralismo ontológico fracasa en ofrecer una clara distinción entre teoría y esquema conceptual, lo cual podría conducir a su trivialización: las teorías científicas podrían justificarse a sí mismas.

El pluralismo ontológico se ha mostrado definitivamente como una propuesta atractiva, pero no solo no resulta fácilmente aplicable para los casos propuestos pues en ellos no es posible identificar esquemas conceptuales diferentes que constituyan las respectivas ontologías, sino que necesita, para instituirse como una postura filosófica con pleno derecho, de una serie de rectificaciones que brinden criterios para identificar los marcos conceptuales. Dado que confiamos, en función de la evidencia disponible, que el monismo científico debe ser superado, en esta sección no se ha intentado refutar el pluralismo ontológico sino identificar sus límites para futuras investigaciones.

4.2 ¿Qué decir del inferencialismo?

En el capítulo anterior hemos intentado demostrar que las estrategias perspectivistas resultan inútiles e infructuosas para eludir el inconveniente generado por los modelos incompatibles presentados. A su vez, en la primera sección de este capítulo identificamos los límites y los alcances de los diferentes tipos de pluralismo. En esta sección se analizará una perspectiva que surge de las entrañas mismas del problema en torno de la modelización y la representación: la concepción inferencial propuesta por Mauricio Suárez (1999b, 2003, 2004, 2010b, 2015). Intentaremos mostrar que esta perspectiva tampoco parece satisfactoria. Si, como muestran los ejemplos de la sección anterior, para un mismo sistema S es posible inferir propiedades incompatibles a partir de dos modelos distintos, no parece aceptable interpretar tal inferencia en términos de representación. En efecto, dicha adjudicación no resulta admisible en el contexto de una perspectiva representacionista ya que la misma no nos permite extraer información sobre cómo es el sistema. En este sentido, para que la concepción deflacionaria fuera realmente tal, debería deflacionar el concepto mismo de representación reemplazando la aserción original ‘*A representa B si (...)*’ por ‘*A brinda algún tipo de conocimiento respecto a B si (...)*’.

Pero quizás, en algún sentido, esa sea la estrategia inicial: deflacionar la noción de representación de modo tal que resulte tan permisiva y poco restrictiva para que cualquier modelo se constituya como representativo. Mientras que el inferencialismo promulgue que la representación descansa en la fuerza representacional de un modelo A sobre un sistema B que permita establecer inferencias científicas, entonces, independientemente de la perturbación epistémica que la incompatibilidad pueda generar, los modelos resultarían igualmente representativos debido a que permiten realizar, de hecho, inferencias sobre el sistema. Dado que, en términos de Contessa, los razonamientos subrogantes válidos se instituyen como signos de la representación, y dado que, para que haya tales razonamientos, es suficiente interpretar los elementos componentes del modelo en términos del sistema, los modelos incompatibles también resultarían representativos precisamente por cumplir con la condición mencionada. Asimismo, si el proceso representacional no debe interpretarse en términos de mapeo entre un modelo y su target (Suárez 2015), sino exclusivamente en función de la práctica inferencial del primero, huelga decir que cualquier modelo deviene representativo. En el Capítulo 2 explicamos por qué la noción de representación debe

asociarse con la noción de razonamiento subrogante sólido. Continuando esa línea de investigación, en este capítulo mostraremos que, aunque esta estrategia brindada por Suárez podría parecer perspicaz, no solo no resulta prometedora sino que, por sobre todas las cosas, deviene inconducente.

Para ello, retomando algunos de los reparos argumentativos esgrimidos en la Sección 2.4.b del Capítulo 2, mostraremos que el principal inconveniente de la propuesta de solución brindada por la concepción inferencial, que asocia modelo con representación y representación con capacidad inferencial, es que, parafraseando a Chakravartty, deviene irrelevante, inestable o no explicativa.

La concepción inferencial se encierra en una disyunción mortal. Si no asume la representación en términos esenciales, la postura deflacionaria, al identificar condiciones necesarias mas no suficientes, resulta superflua, ya que no logra establecerse como criterio identificatorio de la potestad representacional de un modelo. A es un modelo de B ¿pero es un modelo representativo? Dado que la capacidad inferencial es condición necesaria pero no suficiente, parece evidente que del hecho de que a partir de A se establezcan inferencias sobre B no se sigue que A represente B. En otras palabras, la representación supone, necesariamente, capacidad inferencial, pero su inversa no se cumple: la capacidad inferencial no garantiza la representatividad.

Pero si, por el contrario, se asume, tal como lo hace Suárez (1999b), que el carácter representacional es esencial al proceso de modelado, entonces deviene nuevamente irrelevante o, peor aun, inestable. En primer lugar, resultaría irrelevante porque si A es modelo de B entonces, trivialmente, A representa B. La consecuencia de esta alternativa es que los razonamientos subrogantes dejarían de ser un signo de la representación, es decir dejarían de cumplir su función, pues, al fin y al cabo, si los modelos son esencialmente representativos, ¿para qué molestarse buscando condiciones necesarias o signos que evidencien su carácter representativo?, ¿cuál es el sentido de asociar representación con inferencialidad? De asumir que la representación es esencial a todo modelo, no se entiende qué papel juega el proceso inferencial, dado que su función como recurso identificatorio del carácter representacional resulta prescindible, superfluo e irrelevante. En segundo lugar, si se afirma que en realidad la capacidad inferencial juega otro papel, es decir, no cumple una función identificatoria de la representación sino una función cognoscitiva en tanto que

indica el grado de conocimiento que se adquiere del sistema, entonces la concepción inferencial resulta inestable. Si se recuerda lo discutido en la Sección 2.5 del Capítulo 2 en relación con la discusión en torno a si son los razonamientos subrogantes sólidos o los válidos los que se instituyen como criterio determinante de la representación, entonces, a menos que supongamos que existe conocimiento de lo falso y que existe conocimiento sobre el sistema target aun cuando (en tanto que la representación puede ser absolutamente imprecisa) este no intervenga como factor regulador de lo correcto e incorrecto, y si además se considera que para Suárez la representación ni siquiera supone una relación de mapeo entre modelo y sistema (Suárez 2015), entonces la concepción inferencial resulta inestable dado que se constituye como fuente del conocimiento y del desconocimiento. Si la representación es el medio para el conocimiento, y conocer se entiende como un proceso mediante el cual se logra brindar algún tipo de información respecto de cómo es el sistema, entonces ¿qué es lo que conocemos cuando el proceso inferencial arroja inferencias que no resultan pertinentes? Lo que resulta imperioso considerar es que, en el momento en que se independiza representación de representación adecuada, entonces habría representación sin conocimiento, es decir, sin saber cómo es el sistema. Esta desagradable conclusión es producto de una confusión de planos temáticos: una confusión entre lo que es generar conocimiento sobre el modelo y lo que es generar conocimiento sobre el sistema. El primero de ellos puede establecerse con independencia del sistema target pues simplemente hace referencia al conjunto de inferencias que brindan algún tipo de conocimiento sobre los alcances y límites del modelo (para un caso de este tipo de inferencias ver Luczak 2016). El segundo de ellos, en tanto que pretende ser conocimiento del sistema, nunca puede establecerse con independencia de este. Por lo tanto, mientras que en el primer caso la representación puede no colapsar con representación adecuada, en el segundo caso, para el caso que se quiera conocer algo del sistema, eso no es posible so pena de trivializar la noción de representación: “si el usuario del modelo no puede derivar afirmaciones justificadas sobre el target, no puede alcanzar el conocimiento sobre él. En el mejor de los casos, el usuario del modelo puede llegar a afirmaciones justificadas sobre el propio modelo. Sin embargo, la traducción de estas afirmaciones sobre el modelo en afirmaciones justificadas sobre el target requiere un ajuste suficiente entre modelo y el target” (Poznic 2018, p. 3449).

Por último, la concepción inferencialista instituida por Suárez tampoco resulta explicativa, y esto porque adolece de una falla fundamental: no establece diferencia alguna entre los diferentes tipos de inferencias posibles. Es decir, no solo no resulta explicativa porque no puede establecer si A representa a B cuando A establece inferencias sobre B, o porque no brinda criterios que permitan elucidar el poder cognoscitivo de los modelos dado que A representa B incluso cuando no establece nada acertado sobre B, sino que ni elucida el alcance de las inferencias ni permite desarrollar un criterio para evaluar el grado de representatividad de los modelos. En efecto, ¿son todas las inferencias del mismo tipo?, ¿son todas las inferencias, independientemente de su alcance, igualmente representativas? Existen aquí dos situaciones igualmente perturbadoras para la concepción inferencialista. La primera de ellas surge cuando se compara un modelo que pretende dar cuenta de un sistema particular en función de la cantidad de variables que introduce. Se sabe que la capacidad inferencial es directamente proporcional al grado de simplicidad del modelo. Nuestros mejores modelos predictivos suelen obviar algunos mecanismos causales o ciertas condiciones necesarias para el acaecimiento del fenómeno a explicar, mientras que los “mejores” modelos causales que incorporan la mayor cantidad de variables relevantes suelen ser deficientes en relación con su poder inferencial. Efectivamente, modelos complejos que incorporan un mayor número de variables resultan ineficaces en términos predictivos dado que la multiplicidad de factores atenta contra la posibilidad del tratar y resolver matemáticamente las ecuaciones que plantea el modelo. Pero, a su vez, aquel modelo que contemple la mayor cantidad de mecanismos causales o variables, aun cuando pierda cierta capacidad inferencial, gana en capacidad comprensiva y explicativa (Morrison 2000; Pincock 2011b). Ante semejante estado de cosas cabe preguntarse cuál de los modelos resulta más representativo: aquel que logra establecer inferencias más precisas sobre algún aspecto específico aun cuando no contemple mecanismos causales significativos, o aquel que permite una mejor comprensión y por lo tanto un “descripción” más detallada de las propiedades relevantes del sistema. La concepción inferencial de Suárez no brinda respuesta alguna a ninguna de estas preguntas.

La segunda situación igualmente perturbadora para la concepción inferencial surge como consecuencia de comprar modelos altamente teóricos y modelos semi-empíricos. En efecto, surge cuando se compara un modelo altamente idealizado (pensemos por ejemplo en las

ecuaciones fundamentales de la física newtoniana) que, resultando ineficaz para establecer predicciones precisas sobre un sistema particular, permite incluir una vasta cantidad de fenómenos como siendo parte de una misma familia (es decir, para expresarlo en términos semanticista, incluyen una vasta cantidad de modelos como modelos pretendidos de la teoría), con modelos más específicos, que en tanto que se refieren a un sistema preciso, representan evidentemente una menor cantidad de fenómenos, aunque permiten establecer, respecto del sistema particular que pretenden representar, un mayor y mejor número de inferencias. Mientras que los primeros, al ser más generales, permiten explicar el comportamiento de un número diverso de fenómenos, los segundos, al ser más específicos y al utilizar un mayor número de aproximaciones, logran una capacidad predictiva mayor en relación con un fenómeno dado. La mecánica newtoniana, mediante sus ecuaciones fundamentales, puede incluir como parte de su dominio pretendido los movimientos del péndulo o los movimientos de los proyectiles; pero para brindar una predicción más precisa de aspectos específicos del primer fenómeno o del segundo, se requieren rectificaciones y aproximaciones que obturan la posibilidad de que el modelo resultante pueda dar cuenta de ambos fenómenos. En este sentido, existiría una tensión entre el apoyo empírico que recibe una teoría a través de un modelo y la capacidad predictiva del modelo: “cuanto más general es la estructura, más fenómenos es capaz de incorporar y, por lo tanto, mayor es el apoyo empírico. Pero típicamente esto se logra a expensas de una descripción teórica detallada que explica los mecanismos y procesos asociados con los fenómenos. Por lo tanto, el apoyo empírico es limitado por las predicciones cuantitativas.” (Morrison 2017, p. 233).

En síntesis, si la representatividad resulta interpelada en función de la capacidad predictiva, ¿cómo elucidar, desde el criterio impulsado por Suárez, cuál de los modelos resulta más representativo? Todo lo expuesto coadyuva a que pueda afirmarse que el deflacionismo de la propuesta de Suárez deflaciona de tal modo la noción de representación que o bien la trivializa, haciendo que una discusión conceptual y filosófica devenga en un discusión terminológica, o bien la vuelve vana, producto de que no explica nada (o explica muy poco).

Como se dijo precedentemente, la razón principal por la cual esta concepción contrae estos inconvenientes se debe a su incapacidad para explicar los diferentes tipos de inferencias posibles pues, como afirma Boesch, “Suárez no especifica acerca de si las

inferencias son instancias de comprensión, explicación o conocimiento” (Boesch 2019b, p. 199). En este mismo sentido, Tan sentencia que “el inferencialismo debe ser modificado para evitar un problema serio. (...). Los inferencialistas deben modificar su punto de vista para que solo un tipo particular de inferencia sustitutiva contribuya legítimamente a la capacidad de representación.” (Tan 2021, p. 11). El inconveniente radica en que si asociamos la capacidad cognoscitiva de un modelo con la representación y la representación con la capacidad inferencial a secas, entonces de no distinguir tipos y clases de inferencias, la perspectiva deviene no explicativa pues no permite una comprensión respecto de la diferencia entre las inferencias fallidas y las inferencias que se reducen a establecer predicciones que no brindan comprensión alguna, y aquellas que establecen predicciones cuantitativa y cualitativamente significativas; o ¿acaso son todas ellas de igual tipo y generan todas ellas el mismo grado o clase de conocimiento?

En consecuencia, para esclarecer la noción de representación y delimitar el campo del inferencialismo resulta imperioso establecer una clasificación entre los distintos tipos de inferencias para encuadrar aquellas que se constituyen como fuentes de la representación de aquellas que no lo hacen; ya que si bien todo proceso representativo supone la capacidad de construir razonamientos subrogantes, no cualquier razonamiento subrogante implica el acto de la representación. Pero, a su vez, esta clarificación resulta necesaria para los propósitos de la presente tesis, pues, caso contrario, si asumimos que el criterio para establecer la representatividad depende de los razonamientos subrogantes sólidos, entonces, así planteadas las cosas, los modelos incompatibles resultarían representativos debido a que ambos generan, en sentido estrictamente predictivo, razonamiento subrogantes sólidos.

La propuesta en este sentido es establecer una diferencia entre los razonamientos subrogantes que solo generan solidez predictiva y aquellos que generan solidez comprensiva. Mientras que los primeros suponen que la conclusión del razonamiento que se adscribe al sistema implica solo una coincidencia predictiva cuantitativa, en el sentido que los cálculos que predice el modelo resultan empíricamente adecuados, los segundos, además de establecer una predicción cuantitativa exitosa, proporcionan información cualitativa al brindar una imagen consistente que permite, al identificar los mecanismos causales que explican el comportamiento del fenómeno, estipular cómo es el sistema. A

nuestro entender, solo estos últimos proveen al modelo su carácter representativo. En este sentido es posible ahora establecer las siguientes caracterizaciones:

(i) *Modelo instrumental.*

- Un agente utiliza un modelo A que apunta a un sistema B.
- El modelo le permite a un agente competente realizar razonamientos subrogantes sólidos predictivos.
- Un razonamiento subrogante sólido predictivo es aquel que permite establecer predicciones cuantitativas.

(ii) *Modelo representativo*

- Un agente utiliza un modelo A que apunta a un sistema B.
- El modelo le permite a un agente competente realizar razonamientos subrogantes sólidos comprensivos.
- Un razonamiento subrogante sólido comprensivo es aquel que, ya sea desde la similaridad, algún morfismo, o cualquier otro tipo de relación, permite establecer predicciones cuantitativas y cualitativas de modo tal de generar un estado mental, no meramente subjetivo⁴⁵, en el sujeto cognoscente en relación con el sistema que se pretende conocer.

⁴⁵ Entre las teorías subjetivistas (Grimm 2011, 2012) de la comprensión, que entienden a la comprensión como meramente un estado subjetivo, y las teorías objetivistas (Psillos y Zorzato 2020), que consideran que para que haya comprensión se debe estar elucidando, o se debe creer que se está elucidando, la estructura real del mundo, existe una teoría intermedia propuesta por Rowbottom (2019) (que por las razones que veremos en la siguiente sección subscribimos solo parcialmente), según la cual se entiende la comprensión en términos de comprensión empírica (*empirical understanding*). Esta concepción no supone existencia ni credibilidad, sino la elucidación de las interrelaciones de los componentes del sistema que permiten explicar su comportamiento. Es una comprensión que no es totalmente fáctica ni totalmente no fáctica. Ni es un estado subjetivo que radica exclusivamente en el sujeto que conoce, ni tampoco es objetiva en el sentido que consiste en captar la explicación real de los fenómenos del mundo. Es, como afirman Psillos y Zorzato “una forma de comprensión que supera la comprensión subjetiva porque implica una relación con el mundo, aunque no alcanza para la comprensión objetiva” (Psillos y Zorzato 2020, p. 250). La cuestión (y lo que explica, como veremos en la siguiente sección, en parte por qué consideramos que el instrumentalismo de Rowbottom no pudo instituirse como una genuina alternativa instrumentalista) es que esta concepción no incluye los modelos incompatibles dado que en estos casos no hay una comprensión de cómo son, o podrían ser, las interrelaciones que explican el acaecimiento del fenómeno. Es decir, los modelos incompatibles no producen lo que para Rowbottom son las notas distintivas de la comprensión: memorabilidad, facilidad y confianza. De

Nótese que esta distinción es neutral en relación con la disputa realismo-antirrealismo, es decir, tanto realistas como antirrealistas pueden ser representacionistas. En efecto, mientras que el realismo supone una actitud epistémica particular, a saber: la creencia en la existencia de aquello que se prescribe en las explicaciones teóricas de la ciencia, dicha actitud está ausente en la definición brindada. El carácter representativo lo único que demanda es que el modelo arroje una informatividad entendida en términos de comprensibilidad de los mecanismos que explican el comportamiento del fenómeno estudiado. Esto puede resultar extraño si uno considera que la definición misma entraña, en la mentada solidez del razonamiento, el concepto de verdad, instituida tradicionalmente como el objetivo primario de la ciencia desde las perspectivas realistas. Como ya se ha afirmado en el Capítulo 2, he preferido mantener la asociación entre solidez y verdad para respetar la clasificación instituida por Contessa. Ducheyne (2008) para no adentrarse en la arenosa discusión en torno a la verdad, prefiere asociar solidez con adecuación empírica. El problema de adoptar esta perspectiva es que reproduce la ambigüedad que aquí se pretende saldar: adecuación empírica supone meramente capacidad predictiva o el establecimiento de alguna correlación entre modelo y sistema que logre explicar las razones de dicha predictibilidad. En efecto, van Fraassen, siendo antirrealista pero no instrumentalista, no entiende adecuación empírica simplemente con predictibilidad, pues explica la adecuación en términos de representación y la representación en términos de isomorfismo. En efecto, como afirma Teller, “el empirismo constructivo no es una forma de instrumentalismo que niega que los aspectos teóricos de la ciencia sean representacionales” (Teller 2001a, p. 127)⁴⁶. A su vez, van Fraassen tampoco abandona del todo la noción de verdad en relación

hecho, llama significativamente la atención que en su extenso libro *The Instrument of Science*, donde el autor expone toda su teoría, la palabra “incompatible” brille por su ausencia.

⁴⁶ Es precisamente esta forma de entender el antirrealismo por lo que van Fraassen contrae un sinnúmero de problemas: no solo le resulta difícil, bajo esta caracterización, justificar las diferentes actitudes epistémicas para con los objetos empíricos y teóricos, sino que, también producto de ello, contrae el problema conocido como “la objeción de la pérdida del mundo”, pues el modelo teórico no salva los fenómenos sino los modelos de datos. Como afirma Teller: “¿Dónde están los fenómenos en todas estas descripciones? Los modelos de datos, que describen patrones a gran escala de campos magnéticos alternos pero extraordinariamente débiles, no representan fenómenos en el sentido de van Fraassen” (Teller 2001a, p. 138). Frente a esto, Fine correctamente afirma que “si van Fraassen acepta mi sugerencia, tendrá que modificar su imagen de cómo se aplican las teorías. (...) El isomorfismo a las subestructuras empíricas ni siquiera comienza a captar la complejidad de la aplicación teórica genuina en la ciencia.” (Fine 2001, pp. 113-114).

con el ajuste existente entre los constructos explicativos y los fenómenos del mundo. Tanto en los realismos como en el empirismo constructivo, la verdad es la propiedad que importa: mientras que los realistas sostienen que las teorías científicas deben evaluarse en términos de verdad de todo lo que dice, van Fraassen asevera lo mismo solo para una parte de la ella (Sober 2002). Quizás, como afirma Fine (1986, 2001), la confusión que se ha impuesto como cierta en los últimos 20 años fue generada precisamente por van Fraassen, pues lo que caracteriza al realismo no es solo la verdad sino la existencia o inexistencia de las entidades teóricas de la ciencia.

En conclusión, la definición aquí instituida de la representación, que selecciona solo un tipo de razonamiento subrogante sólido, no se asume realista ni antirrealista, pues no aborda el problema de la existencia sino de la comprensión. Y, como afirma Chakravartty, “la mera existencia es solo la punta del iceberg ontológico, ya que normalmente estamos más interesados en cómo son estas cosas, y aquí, como hemos visto, uno enfrenta el desafío de modelos inconsistentes y, por lo tanto, la amenaza de modelos incompatibles.” (Chakravartty 2017, p. 174).

4.3 ¿Quién le teme al instrumentalismo?

El proceso de modelización parece ser el lugar natural donde podría anidar el instrumentalismo (Chakravartty 2001; Sober 2002). Frente a los intentos de compatibilizar realismo e instrumentalismo como simples formas diferentes del habla, sobre la base de que en términos generales verdad y predictibilidad tienden a confluír⁴⁷, o de directamente rechazar el instrumentalismo aduciendo que, si el objetivo es maximizar la capacidad predictiva, entonces la verdad es el camino más eficaz para ello, se erige la actividad del modelado como una instancia donde el anhelo instrumentalista encuentra su lugar: las idealizaciones (entendidas como distorsiones que establecen adscripciones falsas), siendo responsables de la capacidad predictiva del modelo, manifiestan que ni es cierto que si se busca la capacidad predictiva, lo mejor es focalizarse en encontrar la verdad, ya que un modelo más completo resulta menos eficaz en términos de predictibilidad, ni que,

⁴⁷ Recordemos que Nagel (1961) sugiere que la diferencia entre instrumentalismo y realismo no es sustancial ya que si las teorías verdaderas son las que maximizan la precisión predictiva, entonces el objetivo de buscar la precisión predictiva y de buscar la verdad coinciden.

consecuentemente, la verdad se instituya como principio rector del conocimiento científico. En efecto, si la pretensión de asir lo real se constituyera como el mejor modo para explicar la dinámica de la actividad científica, entonces la práctica del modelado sería un sinsentido pues, como afirma Sober, “el desconcierto es por qué los científicos se molestan en realizar estas pruebas en primer lugar, si el objetivo es descubrir qué modelos son verdaderos.” (Sober 2002, p. 114).

Pero lo que resulta inaudito y aun más asombroso del hecho de que el instrumentalismo pueda instituirse como lugar natural para explicar la modelización es que esta conclusión parece ser una consecuencia indeseable pero inevitable. En efecto, el hecho de que esta perspectiva filosófica parece ser resignadamente aceptada incluso por aquellos que se resisten a adoptar este modo de entender la práctica de la producción científica puede leerse en diferentes fragmentos de la bibliografía reciente. Giere, en uno de los pocos párrafos que le dedica a los modelos incompatibles, concluye que si “solo nos preocupa la aplicación de modelos, ¿qué importa si las aplicaciones entran en conflicto? Use el tipo de modelo que mejor sirva para los propósitos actuales. Encuentro esa actitud comprensible, pero *demasiado* instrumentalista.” (Giere 1999, p 83; las itálicas no están en el original). A su vez, una defensora del perspectivismo como Massimi asevera que, como resultado de la incompatibilidad entre modelos, el perspectivismo de Giere vuelve “a *caer* en una forma de instrumentalismo” (Massimi 2018a, p. 169; las itálicas no están en el original) o “se desliza hacia una forma *peligrosa* de 'visión desde todas partes', similar a una forma sofisticada de instrumentalismo sobre la ciencia” (Massimi 2018a, p. 169; las itálicas no están en el original)⁴⁸.

Ante semejante estado de cosas se impone una pregunta que demanda explicación: ¿por qué existe un *peligro* en *caer* en una visión *demasiado* instrumentalista? Es decir, ¿por qué el instrumentalismo parece ser una respuesta razonable pero indeseable? Una respuesta posible es que el instrumentalismo suele estar asociado a una doctrina del pasado (cfr.

⁴⁸ No se pretende afirmar aquí que las idealizaciones conducen necesariamente al instrumentalismo o que, dadas las idealizaciones, el instrumentalismo es el único camino para darle sentido al progreso científico. De hecho, por el contrario, no solo las idealizaciones pueden ser entendidas desde una perspectiva no instrumentalista (ver también Psillos y Zorzato 2020; Psillos 2022) sino que, en la presente tesis reiteradamente se ha insistido que lo que nos conduce al instrumentalismo no es tanto la idealización sino los modelos incompatibles. El espíritu de estos párrafos es poner de manifiesto el sentir subyacente que existe hacia el instrumentalismo.

Gelfert 2016), una doctrina que ya se encuentra superada por el fuerte conservadurismo que supone su aparente necesidad de restringirse exclusivamente al mundo de lo observable (Suppe 1989), su irreductible empirismo y su anticuada postura anti-metafísica. La secuencia (falazmente) argumentativa parece rezar de la siguiente forma: en un primer paso se empareja la postura instrumentalista con el empirismo lógico en su versión más estrecha, para que luego, ya habiendo sembrado el terreno para la refutación del empirismo lógico, resulte inviable e ignominioso presumir cualquier tipo de instrumentalismo. Como afirma Fine “ese es el instrumentalismo que se convirtió en el chivo expiatorio del realismo en la década de 1960 y que los realistas a menudo presentan hoy como un ejemplo degenerado para asustar a quienes cuestionan su doctrina.” (Fine 2001, p. 108).

Este diagnóstico explica por qué en la actualidad ha habido una proliferación de perspectivas que se presentan como alternativas superadoras tendientes a ocupar el espacio vacante dejado por el instrumentalismo. De hecho, es a partir de esta secuencia histórica que puede entenderse el furor que generó en las últimas décadas el pluralismo epistémico previamente analizado, o la perspectiva ficcionalista que analizaremos inmediatamente, para todos aquellos que, no queriendo ser realistas, temían percibirse como instrumentalistas.

4.3.a El ficcionalismo

El ficcionalismo surge como consecuencia de tres equívocas asociaciones complementarias pero independientes entre los modelos y las obras de ficción. El análisis de estas tres asociaciones nos permitirá mostrar la sinrazón de esta propuesta como una alternativa genuina del instrumentalismo.

La primera asociación que se presenta como fundante del ficcionalismo se produce mediante una falaz analogía entre idealización, abstracción y ficcionalización. En efecto, para muchos autores resulta suficiente con advertir la falta de correspondencia y adecuación entre un modelo y su sistema para concluir la existencia de una similitud entre el modelado y la ficción (Fine 1993; Barberousse y Ludwig 2009; Knuuttila 2009; Suárez 2009a; Frigg 2010; Toon 2010). Ahora bien, aun cuando se asuma que estas tres instancias comparten la característica de instituir algún tipo de falsedad, no por ello se puede concluir que son equiparables dado que los modos, las razones, las funciones y motivos por las cuales estas

instancias se instituyen difieren profundamente (Giere 2009; Morrison 2009; Teller 2009; Winsberg 2009; Chuang 2014). Por un lado, como afirma Giere (2009), parece ser que la analogía entre idealización y ficción descansa en una exagerada noción de lo que no es ficción: solo si se entiende que lo no ficcional es aquello que abarca la verdad, toda la verdad y nada más que la verdad, puede inferirse que los modelos son ficciones por el mero hecho de contener aspectos no correspondidos con el sistema⁴⁹. Por otro lado, como afirma Chuang (2014), mientras que un modelador sentirá orgullo e incluso se esforzará por simplificar y distorsionar el sistema con tal de obtener predicciones precisas, asumir algo semejante o preguntarse por hasta qué punto un personaje de ficción como Meursault de la obra *El extranjero* de Camus está simplificado, no solo resulta un sinsentido, sino que, para el caso que se lo simplifique terminará siendo contraproducente dado que eso atentaría contra el objetivo de una obra literaria: generar un impacto emocional en el lector. Es decir, mientras que la simplificación es un valor para el caso de los modelos, en ningún caso lo es para las obras de ficción.

La segunda asociación entre modelo y ficción se introduce en el contexto de la pregunta ontológica asumiendo que, dado que el péndulo ideal o el modelo del gas ideal son construcciones abstractas y teóricas sin contrapartida inmediata en el campo de lo real, entonces *son* ficciones (Giere 2009; Contessa 2010). Es decir, para estos autores tanto los modelos como los objetos de ficción pertenecen a la misma categoría ontológica simplemente porque no son objetos concretos o materiales sino productos de la imaginación. Ahora bien, esta coincidencia encuentra sus límites inmediatamente cuando se advierte que aquello que no es “material” o “concreto” abarca un amplio campo de objetos disímiles entre sí. ¿O acaso son los modelos abstractos simplemente objetos imaginarios?; y si lo fueran, ¿son los modelos teóricos, por ser imaginarios, simplemente objetos

⁴⁹ Dado que, por lo general, aquellos que adoptan un *fictionalismo estrecho* tendiente a distinguir ficción de idealización suelen adoptar posturas realistas y/o representacionistas, mientras que aquellos que abogan en favor de un *fictionalismo amplio* que asocia las idealizaciones con las ficciones suelen adoptar posturas antirrealistas e inferencialistas (cfr. Suárez 2009a), puede resultar extraño que en la presente tesis, pretendiendo instituir algún tipo de instrumentalismo, se adopte el primer criterio, es decir, se entrecrucen los caminos promulgando un instrumentalismo sobre la base de la distinción entre ficción e idealización. Sin embargo, habría que considerar no solo que aquí no se pretende defender ningún tipo de ficcionalismo (ni el estrecho ni el amplio), sino que el instrumentalismo que aquí se sustenta no deviene como consecuencia de las idealizaciones, sino de un problema diferente y más acuciante, a saber: la existencia de modelos incompatibles.

ficcionales?; el hecho de que existan objetos que no pertenezcan al campo del espacio-tiempo ¿hace que ellos sean todos del mismo tipo? La confusión se genera cuando la noción de abstracto se reduce o se agota en la categoría de lo ‘no material’ o lo ‘no concreto’, y cuando, por ello, se pretende asimilar un objeto de ficción con un objeto abstracto. En este sentido, aun cuando se acepte que ambos objetos no son materiales, eso no parece suficiente para caracterizarlos como ontológicamente a la par, dado que el alcance y el proceso mismo de producción de un modelo tiene una serie de constreñimientos externos (empíricos y de la comunidad científica) que no forman parte de una obra ficcional. En esencia, un objeto abstracto no pertenece a la misma clase de objetos que un objeto ficcional. A los primeros se les puede adscribir características objetivas que devienen necesarias como consecuencias de las notas distintivas que el mismo objeto posee, y se les puede asimismo atribuir, como consecuencia de ese carácter objetivo, propiedades que no hayan sido consideradas inicialmente. En cambio, en los objetos ficcionales no solo todas las características están dadas en y por el acto creativo, sino que la supuesta necesidad que se puede atribuir al objeto ficcional (como, por ejemplo, que Sherlock Holmes es un detective londinense) resulta ser una necesidad trivial producto de un mero acto estipulativo.

Por último, pero fundamentalmente, la tercera equívoca asociación entre los modelos y las obras de ficción que se instituye como fundante del ficcionalismo se introduce en relación con la pregunta sobre la representación. Esta asociación no pretende establecer una analogía ontológica (aunque tampoco necesariamente la niegue) sino funcional, al aseverar que lo que hacen los modelos es representar el mundo –análogamente como lo hacen las artes– al modo del ‘como si’ (Vaihinger 1911).

Existen diferentes modalidades en que esta visión del ficcionalismo, que nace de explicar la representación en términos análogos a la ficción, se materializa (Vaihinger 1911; Godfrey-Smith 2009; Suárez 2009a, 2009b; Knuuttila 2009; Frigg 2010; Toon 2010; 2016; Contessa 2010. Para una análisis crítico de estas diferencias ver Gentile y Lucero 2019b). Aquí no nos detendremos en analizar los pormenores y diferencias de esta corriente ficcionalista, pues el recelo que esta perspectiva genera no deviene de las particularidades específicas que adopta, sino de una sospecha general que abarca a toda esta tradición en su totalidad. La cuestión que aquí se intentará evidenciar es que, de tomarse seriamente esta

propuesta, resulta necesario introducirse en el campo de la filosofía de la estética con el objeto de tratar de entender qué son las ficciones y cómo es que aprendemos de ellas. Sin embargo, cuando ello se realiza, la estrategia ficcionalista como estrategia alternativa no resulta tan distinta ni tan fructífera. En efecto, no solo la equivalencia ontológica parece equivocada, sino que también la pretensión de comprender el papel cognoscitivo que cumplen los modelos asumiendo una equivalencia funcional del tipo “aprendemos de los modelos del mismo modo en que aprendemos de las obras de arte” está sobrevalorada. Como afirma Currie “la ficción es uno de esos conceptos como bondad, color, número y causa que tenemos poca dificultad para aplicar pero gran dificultad para explicar” (Currie 1990, p. 1). En este sentido, resulta razonable pensar que el ficcionalismo no es más que una estrategia que explica algo oscuro con otra cosa aún más oscura. Aquellos autores que acuden a la ficción para comprender el modo en que los modelos “nos hablan” del mundo y, consecuentemente, el modo que debe entenderse la noción de verdad⁵⁰ no consideran que, en el ámbito propio de la filosofía de la estética, ni la noción de ficción (cfr. Currie 1990) ni la noción de verdad –en la ficción– (cfr. D’Alessandro 2016) están suficientemente bien establecidas. De hecho, en este campo hasta se pone en duda si la noción de verdad en la ficción tiene algún sentido: “¿Es el nihilismo la visión correcta sobre la verdad en la ficción, o se puede defender alguna versión más fuerte del explicitismo –*explicitism*– (o incluso del implicitismo –*implicitism*–)? Confieso que tengo ciertas inclinaciones nihilistas, pero hay que trabajar más antes de que se pueda resolver el problema.” (D’Alessandro 2016, p. 65).

En síntesis, las diferencias entre las obras ficticias y los modelos son tantas y las similitudes pretendidas son tan vagas que el entusiasmo que ha suscitado el ficcionalismo resulta cuanto menos exagerado. En el mejor de los casos, de estas analogías podría concluirse, como afirman Gentile y Lucero, que podría existir algún tipo de *continuum*. Pero, como correctamente sostienen, esto es válido mientras no se pasen por alto las evidentes y sustanciales diferencias (Gentile y Lucero 2019a). Las diferencias, como

⁵⁰ Frigg, adoptando la perspectiva inaugurada por Walton, considera que la mejor forma de entender el modo que los modelos producen conocimiento es considerar a los modelos análogamente a los juegos de fantasía o los juegos de imaginación en los que los participantes del juego hacen-como-que (*make-believe*). Precisamente en el contexto del hacer-como-que se define también la noción de verdad tanto en el ámbito de la ficción como en el ámbito del modelado: “este análisis de la verdad en la ficción absorbe a los sistemas-modelo uno a uno” (Frigg 2010, p. 262).

dijimos, son ontológicas y funcionales. No solo un objeto imaginario de ficción es diferente a un objeto abstracto, sino que funcionalmente las simplificaciones realizadas mediante las idealizaciones son, a diferencia de lo que sucede en las obras ficcionales donde lo que se juega es un impacto emocional, un recurso valioso. A su vez, a diferencia de lo que sucede con los modelos científicos, una obra literaria nunca será juzgada en función de su éxito o fracaso en la predicción de un fenómeno (Chuang 2014).

Por otro lado, las similitudes resultan vagas dado que el hecho de que aprendamos tanto de los modelos científicos como de las ficciones es un *factum* que no resuelve el problema principal, a saber: cómo es que aprendemos de ellos. Intentar responder esta pregunta mediante una analogía con la ficción difícilmente pueda resultar iluminador dado que la misma pregunta se mantiene abierta en el ámbito de la filosofía de la estética. Los filósofos de la ciencia han recreado el problema del tercer hombre, ya que, al recurrir a la ficción, en lugar de echar luz al problema de la representación, importaron un conjunto de problemas externos aún no resueltos: “parece que, al ser capaces de referirnos a personajes ficticios como Holmes y Anna, y de hablar de forma inteligible sobre ellos, tal vez ayude a pensar las superficies sin fricción al modo de un personaje ficticio. (...) Sugeriré que, en algunos aspectos, esta es una imagen demasiado optimista de la ayuda que la reflexión sobre la ficción puede aportar a nuestra comprensión del modelado científico. Al menos en una cuestión, creo que los filósofos de la ciencia han sido engañados por la publicidad engañosa de los filósofos de las ficciones: yo me incluyo entre los culpables. Los filósofos de la ciencia han dicho que la idea de que algo sea verdadero en una ficción les es útil, y nosotros, los filósofos de la ficción, ciertamente hemos ofrecido teorías etiquetadas como ‘teorías de la verdad en la ficción’. Fue un error de nuestra parte etiquetarlos de esta manera” (Currie 2016, p. 298).

Por último, para finalizar esta sección sobre la postura ficcionalista y promover simultáneamente el camino hacia el instrumentalismo, se podría afirmar que esta perspectiva tampoco resulta prometedora porque solo puede percibirse como distinta del instrumentalismo para el caso en que se adopte una perspectiva anticuada, estrecha y extremadamente positivista de este. En efecto, el ficcionalismo puede pensarse como no instrumentalista solo si esta tradición se interpreta en términos positivistas como aquella que niega la posibilidad de que la teorías sean verdaderas o falsas; como aquella que

promueve un empirismo furibundo que obtura cualquier discusión metafísica bajo la suposición que las teorías no son más que sus consecuencias observacionales; y como aquella que comulga con una estrategia eliminativista que pretende reducir los términos teóricos a términos empíricos. Efectivamente, el derrotero del positivismo lógico condujo, en parte por el fracaso de la estrategia eliminativista pero en mayor medida por la crítica despiadada hacia el realismo metafísico, a que esta postura filosófica terminara asumiendo que las proposiciones teóricas no tienen sentido dado que ni son afirmaciones sobre el mundo ni conllevan compromiso ontológico alguno. Precisamente, el descrédito que estas tesis (en particular esta última) supieron acumular a lo largo de los años coadyuvó a que, junto con el positivismo lógico, se prescindiera también del instrumentalismo. Una de las consecuencias de ello fue que o bien florecieran y/o resurgieran propuestas presuntamente alternativas como el ficcionalismo, o bien directamente se impusiera el realismo como única alternativa concebible (Psillos 2022).

Ahora bien, si se considera, como veremos en la siguiente sección, que el instrumentalismo no requiere anular la posibilidad de atribuir valores de verdad a las teorías científicas; ni supone que los términos teóricos no tienen sentido, entonces las diferencias con el ficcionalismo (entendido como aquella postura que afirma que los enunciados de las teorías tienen valor de verdad –dado que en particular son falsos– o que destaca –en analogía con la ficción– el carácter metafórico del lenguaje) parece desdibujarse⁵¹ (esta asociación puede leerse en Fine 1993; Psillos2022).

En síntesis, en función de lo antedicho se podría aseverar principalmente que el ficcionalismo no resulta tan prometedor pues, al recurrir a las obras de ficción para explicar la capacidad representativa de los modelos, importa más problemas que soluciones. Pero además tampoco resulta claro en qué medida puede constituirse como una genuina alternativa del instrumentalismo.

4.3.b Un nuevo instrumentalismo

Para terminar con el análisis del primer binomio constituido por los relata modelo-sistema target, y ya habiendo desestimado el perspectivismo y el ficcionalismo como

⁵¹ Muestra de que el carácter metafórico del lenguaje no es propiedad de los ficcionalistas es Rowbottom (2011). Desde una perspectiva instrumentalista este autor asevera, por ejemplo, que el término ‘electrón’ no debe tomarse literalmente.

alternativas sustentables, nos queda una última tarea. Así como otrora Putnam intentó poner fin al “mito del positivismo lógico” (Putnam 1994, p. 129), podríamos, en estos últimos párrafos, emular tímidamente la tarea e intentar, en primer lugar, recuperar el sentido instrumentalista a fines de debilitar “el mito instrumentalista” y, en segundo lugar, definir el tipo de instrumentalismo que se defiende en la presente tesis.

Los intentos por resucitar el instrumentalismo adquirieron dos estrategias no necesariamente complementarias. La primera de ellas puede utilizar los trabajos llevados a cabo por autores como Nagel o Carnap, quienes promovieron un compatibilismo entre realismo e instrumentalismo. La idea subyacente de esta primera estrategia es afirmar que las discrepancias no son más que formas de hablar: “un enunciado dado puede funcionar como una premisa en un contexto, pero en efecto puede usarse como un principio rector en otro contexto, y viceversa. (...) En general, solo hay una diferencia verbal entre preguntar si una teoría es satisfactoria (como técnica de inferencia) y preguntar si una teoría es verdadera (como premisa)” (Nagel 1961, pp. 138-139). Del mismo modo, Carnap asevera que “decir que una teoría es un instrumento confiable, es decir, que las predicciones de eventos observables que arroja serán confirmadas, es esencialmente lo mismo que decir que la teoría es verdadera y que existen las entidades teóricas no observables de las que habla. Así, no hay incompatibilidad entre la tesis del instrumentista y la del realista.” (Carnap 1966, p. 256). Esta estrategia tendiente a poner en pie de igualdad realismo e instrumentalismo, de modo tal de revitalizar la última como perspectiva viable, ha sido resucitada por autores como Stein (1989), para quien, si se dejan de ridiculizar las propuestas antagónicas, un realismo ilustrado y un instrumentalismo sofisticado no tienen diferencias significativas. En parte el autor propone que, si se establece la disputa en términos de un realista apasionado que habla de lo que es y un instrumentalista desapasionado (Mitsch 2019), ninguna de las dos posiciones logra ser suficientemente explicativa de la práctica científica. En contrapartida, cuando se las comprende moderadamente, la diferencia entre ambas se desvanece. Por su parte, Stanford (2006) advierte que las diferencias no son tanto de clase como de grado, ya que en definitiva ambos, realistas e instrumentalistas, tienen la misma actitud epistémica hacia las teorías. Para ello toma en consideración la actitud que los realistas adoptan en relación con el uso pragmático de la teoría de Newton. En este sentido, concluye que, respecto de la

actitud epistémica para con las teorías, solo existe una diferencia local, mas no global, dado que el instrumentalista concibe como instrumentos útiles un conjunto más grande de teorías. Es así que el autor se pregunta: ¿por qué resulta inviable la propuesta instrumentalista si hasta el realista la adopta?

Sin embargo, en la presente tesis se considerará una estrategia alternativa que resulta más prometedora. En efecto, el instrumentalismo tiene más posibilidades que simplemente mimetizarse con el realismo, ya que tiene elementos para constituirse como una alternativa genuina. Esta segunda estrategia, que parece ser más vigorizante para el instrumentalismo, no se conforma con poner en pie de igualdad las posturas en juego, sino que intenta constituir un auténtico instrumentalismo que replique los equívocos presupuestos que devienen de una concepción estrecha del mismo. Recordemos que, en su versión tradicional, atada fuertemente a los preceptos instituidos por el positivismo lógico, el instrumentalismo se asocia con aquella concepción que afirma que las teorías son meras herramientas no susceptibles de ser verdaderas o falsas; se asocia con un fuerte empirismo según el cual los términos teóricos no tienen sentido, dado que una teoría no es más que sus consecuencias observacionales y, por lo tanto, dos teorías con las mismas consecuencias observacionales serían idénticas; se asocia también con aquella estrategia que prescribe prescindir de los términos teóricos reduciéndolos a términos observacionales; y, por último, se lo acusa de establecer una marcada e injustificada distinción entre términos teóricos y términos observacionales. En efecto, desde posturas realistas y anti-instrumentalistas se afirma que no hay razones para restringir nuestras creencias para con los objetos teóricos, dado que no solo no hay una nítida y clara distinción entre los términos teóricos y los observacionales, sino que la evidencia que genera convicción para con los términos observacionales se equipara con la evidencia disponible para con los términos teóricos (cfr. Putnam 1971; Psillos 1999, 2022; Sankey 2008; Rowbottom 2019).

Como respuesta a estas supuestas necesidades del instrumentalismo, existen tres líneas de investigación posibles en función de cuáles de las antecedentes tesis se rechacen. Sin embargo todas ellas comparten un núcleo común que las hace ser parte de esta misma tradición denominada “nuevo instrumentalismo” (Fine 1984; Sober 1999, 2000; Rowbottom 2011, 2018, 2019). En primer lugar, el instrumentalismo actual no asume ningún tipo de instrumentalismo sintáctico, es decir, se desembaraza del peso que supone

quitarle contenido semántico a las teorías científicas y afirma que las teorías científicas ni son reducibles ni son meros instrumentos carentes de valor de verdad que simplemente establezcan conexiones entre observables. Si bien es cierto que algunos autores instrumentalistas consideran que no hay razón para atribuir contenido asertivo a las teorías científicas y que hablar de verdad o falsedad no es más que una metáfora (Frank 1932), negar este principio no atenta contra el instrumentalismo. Mientras que Sober afirma que no es necesario eliminar la verdad del discurso científico sino reconocer que hay aspectos de la práctica científica que no tienen sentido si se considera a la ciencia como empresa que tiene como objetivo primario la búsqueda de la verdad (Sober 2002), Fine asevera que “el instrumentalismo trata las historias científicas como si fueran verdaderas, en la medida en que se basa en ellas y en sus entidades postuladas como guías útiles para cualquier trabajo práctico y teórico que pueda surgir.” (Fine 1986, p. 157). En esta misma línea, Rowbottom niega que asumir que las teorías deben ser consideradas primariamente como instrumentos implique que las mismas no tengan contenido semántico. Aun cuando las teorías sean descripciones precisas del mundo “¿significa esto que su valor consiste, total o parcialmente, en el hecho de que son tales descripciones? No. (...). Y esto podría ser válido incluso si el poder predictivo de las teorías está estrechamente relacionado con su veracidad. Encontrar teorías veraces podría ser simplemente un medio necesario para un fin.” (Rowbottom 2018, p. 88).

El segundo aspecto que conforma el núcleo estructural de este nuevo instrumentalismo radica en que no habría que confundir el empirismo (nuestro conocimiento no puede ir más allá de lo observable y se reduce a ello) con el instrumentalismo (las teorías y las prácticas científicas cumplen eminentemente una función predictiva). Mientras que la primera niega que podamos saber si los enunciados teóricos son verdaderos y afirma que las teorías se reducen a lo observable ya que esto es lo único significativo, la segunda no supone ningún eliminativismo de los términos teóricos, sino que niega que la verdad sea lo más relevante para la ciencia (Fine 1986; Sober 2002).

Ahora bien, este cuerpo teórico común no implica, como dijimos, que no existan diferentes líneas de investigación en función del modo en que se entiende la noción de verdad, de cuál es el alcance de la predictibilidad, y de qué peso tiene la distinción entre términos teóricos y observacionales. La primera de estas líneas de investigación se

configura en torno al instrumentalismo pragmatista inaugurado por Dewey (1905, 1943, 2000) y luego desarrollada en términos más actuales por autores como Fine (1984, 1986, 1991, 1993, 2001). Desde este marco interpretativo, la verdad operante en la ciencia no debe ser entendida en términos de correspondencia como copia –tal como fue configurado tanto por el empirismo tradicional como por el racionalismo–, sino como aquello que nos permite establecer relaciones “más eficaces y beneficiosas con los objetos” (Dewey 2000, p. 76). En este sentido, el pensamiento verdadero sería el pensamiento útil, dado que conduce a las consecuencias deseables. Si bien esta línea de investigación es asumida en términos realistas por autores como Giere (1999), Fine la reconduce hacia el instrumentalismo mediante la adopción de una *actitud ontológica natural* (NOA por su siglas en inglés) que se distancia del “inflacionismo filosófico” (Fine 1986, p. 179) de los realistas y los antirrealistas. La verdad desde esta perspectiva no requiere interpretación alguna de la creencia: mientras que el realista requiere creencia y una interpretación de esa creencia (a saber: que la mejor explicación que garantiza la creencia es la existencia de entidades teóricas), el antirrealista abandona la creencia pero también sobre la base de otra interpretación (que la creencia requiere evidencia y que la evidencia sobre las entidades teóricas no es suficiente). Frente a esto, NOA asume que se puede asumir la creencia sin justificación en términos de existencia o inexistencia sino como consecuencia de la confiabilidad instrumental que las herramientas teóricas muestran. En este sentido, la perspectiva no realista del NOA, que Fine relaciona con el realismo de entidades de Hacking (1983) siempre que este no suponga atributos de existencia y que la denominación “realista” sea solo una etiqueta para “darle a la nueva dirección un nombre antiguo y honrado” (Fine 1986, p. 176) –y aquí agrego, ¿acaso por la deshonra que el instrumentalismo supo cosechar?–, supone que “uno puede estar de acuerdo con la creencia, pero luego simplemente no agregarle ninguna interpretación especial, ni realista ni antirrealista. Así es el NOA” (Fine 1986, p. 176). Una actitud que ni desacredita la labor científica ni la sobreinterpreta; pero que, a diferencia de las otras perspectivas que inmediatamente analizaremos, supone la verdad como confiabilidad y aduce, frente a la crítica realista de que no hay justificación para asumir diferentes actitudes para con los términos teóricos y los observacionales, que no hay dos criterios sino solo uno y el mismo: la confiabilidad instrumental que generan.

Existen, a su vez, otras variantes del instrumentalismo que no asumen el pragmatismo. Estas variantes se sustentan afirmando que la falacia del “nada más” no aplica para instrumentalismo, ya que no es cierto que las teorías sean simplemente instrumentos de cálculo. Si bien estas perspectivas se asumen como instrumentalistas porque consideran que la ciencia es principalmente una tarea para la predicción, consideran que no es solo eso, dado que o bien se instituyen también como instrumentos cognitivos (Rowbottom 2011, 2014, 2018, 2019) o bien porque la predictibilidad no anula el valor por lo verdadero (Sober 2002). Para estos autores, estos caracteres son subsidiarios a la predictibilidad, es decir, son elementos que sirven como medios para orientarnos eficazmente en el mundo de lo observable.

El primer “nuevo instrumentalismo moderado”, introducido por Rowbottom, considera que las teorías son instrumentos cognitivos ya que su fin no es meramente salvar o predecir los fenómenos, sino generar una comprensión de los mismos en vistas de que este acto permita una orientación eficaz en el mundo (Rowbottom 2018). Sin embargo, no es este instrumentalismo el que se defenderá en la presente tesis, ya que lo que en principio parece ser una postura razonable, termina desdibujándose al punto tal que, con ello, también se desdibuja la posibilidad de constituir un instrumentalismo que se instituya como una opción genuina pero diferente. En primer lugar, el autor propugna que no es cierto que el instrumentalismo rechace el discurso literal sino que, en todo caso, lo rechaza en relación con algún término teórico. En este sentido el autor afirma que nuestras aserciones de creencia y existencia deben reducirse, en todo caso, a ciertas propiedades como la masa y la carga, o a que existe, no el electrón, sino algo similar al electrón (cfr. Rowbottom 2011, 2019).

Ahora bien, si esto es así, entonces su propuesta no parece una variante del instrumentalismo. En efecto, Rowbottom (2019) intenta diferenciarse tanto del realismo estructural óptico (ya que, a decir del autor, resulta demasiado presuntuoso cuando afirma que la estructura es lo único que hay) como del semirrealismo de Chakravartty (dado que, entre otras cuestiones, desconfía de la claridad de la distinción entre propiedades de detección y propiedades auxiliares). Sin embargo, estos intentos no resultan eficaces dado que su postura luce más como un tipo, quizás particular, de realismo selectivo que de instrumentalismo. El instrumentalismo de Rowbottom parece ser meramente un

instrumentalismo local, ya que, en respuesta a la aserción de Maxwell de que es una tontería suponer que la transición de lo observable a lo inobservable debe interpretarse como una transición de lo que existe a lo que no existe (cfr. Maxwell 1962), concede el punto y afirma lo siguiente: “existen entidades no observables, y podemos comprender algunas de ellas en su totalidad. Pero también creo que hay otras entidades no observables que no podemos comprender completamente (incluso mediante el uso de analogías)”. Pero, si es así, entonces su propuesta pierde fuerza para instituirse como una genuina alternativa al realismo clásico.

A su vez, si se considera el modo en que Rowbottom justifica la comprensión empírica (en oposición a la comprensión objetiva), su estrategia para instituir un instrumentalismo genuino opuesto al realismo clásico no resulta del todo feliz. Recordemos que, para Rowbottom, la comprensión que supone su instrumentalismo moderado no es ni meramente subjetiva, es decir, un estado mental de quien lo posee, ni totalmente objetiva, es decir, aquella que captura los factores de los fenómenos a explicar, sino que se ubica en un lugar intermedio, asociándose a un estado en el que se encuentra un sujeto en virtud del cual puede satisfacer el fin deseable. Esta comprensión empírica, que ni es meramente un estado mental subjetivo ni la identificación de los factores casuales que están involucrados en el fenómeno, tampoco se reduce meramente a salvar los fenómenos. El aditivo distintivo está determinado en que la comprensión “implica detectar conexiones y, más particularmente, familiarizarse con una nueva estructura” (Rowbottom 2019, p. 119) que posibilite la *memorabilidad*, la facilidad y la confianza en el uso.

El inconveniente, en Rowbottom, surge cuando intenta explicar por qué habríamos de detenernos en la comprensión empírica. Es decir, el problema no radica tanto en instituir una comprensión empírica como diferente a la comprensión objetiva y subjetiva, sino con el modo en que el autor justifica tal comprensión. El autor justifica la necesidad de detenerse en la comprensión empírica (o sea, no dar el salto hacia una comprensión objetiva) porque la comprensión objetiva es imposible de lograr. Al asociar comprensión objetiva con comprensión total, concluye que la comprensión objetiva es imposible dado que la complejidad de los sistemas involucra propiedades con las cuales no podemos estar familiarizados. De este modo, el argumento se configuraría de la siguiente manera: dado que la comprensión objetiva requeriría una comprensión total, y dado que esto resulta

imposible, entonces la comprensión no es objetiva. Ahora bien, como acertadamente afirman Psillos y Zorzato (2020) desde la perspectiva objetivista del comprender, la comprensión de un fenómeno no es una cuestión de todo o nada. Una comprensión objetiva simplemente debería involucrar el mundo e identificar algunos factores causales relevantes que se cree que intervienen en el acontecimiento del fenómeno: “descubrir es una cuestión de grado. (...). Una comprensión parcial de un fenómeno es la comprensión del fenómeno exactamente como comer parcialmente un pastel de chocolate es comer un pastel de chocolate.” (Psillos y Zorzato 2020, p. 250). En consecuencia, si las razones por la cual la comprensión empírica no es objetiva son las esgrimidas por Rowbottom, y si consideramos lo antedicho en relación con el realismo selectivo que su postura supone, entonces Rowbottom se confunde con los alcances de la comprensión objetiva y con ello menoscaba su pretensiones genuinamente instrumentalistas. En efecto, cuando Rowbottom se esfuerza en sustentar su instrumentalismo de tinte comprensivista aseverando que puede haber comprensión aun cuando esta resulte equivocada, no advierte que esto tampoco puede constituirse como una distinción genuina dado que, al fin y al cabo, para el realista, la falibilidad no atenta contra la objetividad.

Pero quizás todo esto es producto de un malintencionado equívoco. Cuando Rowbottom explica cuáles son los elementos concomitantes de la comprensión empírica, afirma que la comprensión promulga la facilidad del uso, la memorabilidad y la confianza. En este sentido, podría afirmarse que la noción de comprensión empírica recupera algunos de los presupuestos fundamentales del instrumentalismo, ya que los criterios no serían objetivos sino epistémicos: tener una comprensión de por qué ocurre algo puede facilitar a memorizar el modelo, facilitar su uso y con ello generar una mayor confianza en él. Sin embargo, esta caracterización de la comprensión no resulta clara en cuanto a su aplicabilidad para con los modelos incompatibles (un tema que, extrañamente, brilla por su ausencia en toda la obra del autor). ¿Acaso la incompatibilidad no produce perturbación alguna en relación con la memorabilidad y la facilidad de uso? O peor aún, ¿acaso los modelos incompatibles no atentan contra esta concepción de la comprensión? Si la facilidad de uso, la confianza y la memorabilidad, son signos de la comprensión, ¿qué es lo que se comprende con los modelos incompatibles si precisamente la contradicción que genera menoscaba la confianza, la memorabilidad y la facilidad del uso? Y por último, considerando los límites

de nuestro entendimiento, si la memorabilidad fuera un rasgo del carácter comprensivista ¿no sería deseable evitar la proliferación de múltiples e incompatibles modelos? O puesto en términos menos subjetivistas, la práctica efectiva de la ciencia, multiplicando modelos, ¿no atenta con este supuesto rasgo que para Rowbottom define a la ciencia? Lamentablemente, todas estas preguntas están sin respuesta en la obra de Rowbottom. Desde esta perspectiva, sería deseable una ciencia sin modelos incompatibles, pero muy a su pesar, existen.

No se niega aquí que se pueda asumir desde un antirrealismo una comprensión empírica no objetiva. El problema radica en que, ya sea que se considere esta comprensión en función de su capacidad para identificar las conexiones causales del fenómeno o se la considere en función de los atributos epistémicos mencionados, los modelos incompatibles resultan difíciles de asir desde esta perspectiva. De hecho, podrían considerarse los modelos incompatibles como la materialización del denominado “argumento de alternativas no concebidas” que fuera desarrollado por Stanford (2006) contra el realismo científico. Este argumento supone que para cualquier teoría y para cualquier evidencia disponible habrá teorías no concebidas mejores o iguales y, por lo tanto, no puede haber confirmación o aceptación general de una teoría actual a menos que se muestre que no es transitoria. Dado que el mismo Rowbottom acepta este argumento como argumento posible contra el realismo, dejemos de lado la evaluación de su legitimidad. La pregunta interesante es, paralelamente a la que formulamos en relación con los modelos incompatibles, ¿por qué esto no sería un problema para el instrumentalismo cognitivo? Frente a esto Psillos y Zorzato afirman que “no hay ninguna razón por la que no debería serlo. (...) La idea clave es que las teorías son instrumentos para predecir y comprender «cómo se interrelacionan los fenómenos» (...) Pero si las teorías están sujetas a cambios tan drásticos, se desarrollan nuevos marcos de las interrelaciones de los fenómenos” (Psillos y Zorzato 2020, p. 256). Es decir, aun en el contexto de una comprensión empírica que no pretenda vincular el entendimiento con la verdad, la interconexión de los fenómenos seguirá siendo desconcertante (cfr. Psillos y Zorzato 2020).

En conclusión, al aceptar que las teorías brindan comprensión entendida como una actividad epistémica que posibilita el entendimiento de los factores causales que explican la interconexión de los fenómenos, y al aceptar también la existencia de al menos algunos

objetos teóricos postulados por la ciencia, el pretendido nuevo instrumentalismo no logra constituirse como alternativa genuina dado que concede todo lo que el realista pide, pues, ¿qué otra cosa pediría el realista? Pero, por otro lado, si la comprensión no debe asociarse simplemente con la identificación de los factores causales para el acaecimiento de un fenómeno, sino con la memorabilidad, la confianza y la facilidad del uso, surge una pregunta imprescindible: memorabilidad, confianza y facilidad del uso, ¿para qué? La respuesta parece inequívoca y nos lleva irremediabilmente al instrumentalismo al que no hay que temer: memorabilidad, confianza y la facilidad del uso para la predicción.

Si la estrategia compatibilista inaugurada por Carnap (1966) y Nagel (1961) y luego desarrollada por Stein (1989) o Stanford (2006) anula una distinción real entre la perspectiva instrumentalista y el realismo clásico; y si la estrategia no compatibilista de Rowbottom fracasa para instituir al instrumentalismo como alternativa genuina, ¿hay lugar para un instrumentalismo serio que dé cuenta de la dinámica de la ciencia pero que no se mimetice con su oponente? El espíritu de lo que resta del capítulo es precisamente abonar el terreno para encontrar una grieta donde el instrumentalismo pueda florecer. Para ello habría que correr el eje de la discusión: dejar de lado ya vetustas discusiones en torno a la existencia o inexistencia de los objetos teóricos, o si la ciencia tiende a la verdad entendida como el desvelamiento de las estructuras últimas del mundo, advirtiendo que, principalmente y de un modo no trivial, la ciencia es una tarea abocada a resolver problemas. Este instrumentalismo ni debe temerle al positivismo lógico ni tiene por qué renegar de él; aunque tampoco puede mimetizarse. La idea central del instrumentalismo que considera a las teorías científicas como herramientas útiles para la predicción es legítima, viable y prometedora. Pero las ideas adyacentes adjudicadas a esta perspectiva debido a su asociación con el positivismo lógico, no. Ni el instrumentalismo debe asumir que las teorías científicas no son susceptibles de ser verdaderas o falsas, ni debe, incluso, negar que las teorías puedan, de hecho, ser verdaderas. Lo único que necesita es afirmar que la predictibilidad (y no la verdad o el establecimiento de la referencia de los términos teóricos) se constituye como objeto primario de las inferencias científicas; o, para ser más incisivo, aun cuando la predictibilidad no sea lo único que hay, al final, es lo único que importa.

El alcance de esta prescripción en favor del instrumentalismo nada tiene que ver con un análisis psicologista de los deseos u objetivos personales de los científicos o de la comunidad científica. Retomando lo que fuera estipulado en la introducción del Capítulo 3, el instrumentalismo aquí promulgado sigue la propuesta de Sober (1999). Las prescripciones que aquí quieren ponerse en consideración advienen del análisis de los alcances de las practicas inferenciales, pues lo que nos interesa es evaluar a partir de estas prácticas, cuál es la máxima que legitima las acciones de los científicos. En este sentido, el valor primario de la predictibilidad por sobre la verdad puede instituirse considerando que, o bien la búsqueda por la verdad no coincide con la búsqueda por predictibilidad, o bien, en el mejor de los casos, es solo un medio para un fin más deseable; ¿o acaso una teoría verdadera pero predictivamente ineficaz sería objeto de deseo? En esta tesis hemos intentado demostrar que la existencia naturalizada de modelos incompatibles en el seno de la actividad química puede ser un buen indicio para darle sentido a cada uno de los disyuntos recién establecidos. Es decir, de considerar los modelos incompatibles y las idealizaciones propias al proceso de modelado, “¿debemos decir que los científicos son irracionales o debemos resolver el conflicto suponiendo que su objetivo es algo distinto de la verdad?” (Forster 2000, p. 243).

Pero también, para que el instrumentalismo que aquí se defiende pueda dar cuenta de los diferentes aspectos de la actividad científica (de modo tal que todo aquello que pueda explicar el realismo también lo explique el instrumentalismo), ni se lo debe asimilar con un empirismo furibundo, ni se lo debe asimilar con el positivismo. En primer lugar, un instrumentalismo serio debe alejarse del principal precepto que rigió la cosmovisión positivista en torno de la metafísica. El instrumentalismo no necesita, ni debe, considerar la discusión metafísica como superflua ni como una actividad que ha ser eliminada de la reflexión filosófica. Muy por el contrario, puede y debe insertarse en esta discusión teniendo siempre presente que los diferentes esquemas de pensamiento pueden resultar más o menos propicios para el desarrollo de los constructos teóricos necesarios para la resolución de problemas prácticos. En este sentido, el instrumentalismo renovado no puede asumir aquello que se constituyó, producto del fracaso de las diversas estrategias adoptadas, como la principal razón que condujo a esta concepción hacia un descrédito generalizado: la imposibilidad de eliminar los términos teóricos. No solo se ha demostrado que la tarea de

reducir los términos teóricos a los términos empíricos resulta imposible, sino, y fundamentalmente, dado su gran capacidad predictiva ¿por qué sería razonable, desde el instrumentalismo, intentar eliminarlos del discurso científico? En consecuencia, si bien el empirismo recalcitrante puede ser una variante del antirrealismo, no está de ningún modo irremediablemente asociado con el instrumentalismo. El instrumentalismo ni promulga que la ciencia debe ir de lo observable a lo observable, ni promulga que la ciencia se reduzca a sus consecuencias observacionales. En este sentido, Sober, junto con todo el instrumentalismo clásico, se confunde cuando afirma que “si dos teorías son predictivamente equivalentes, entonces una diferencia en simplicidad o unificación no hace ninguna diferencia en lo que se refiere al instrumentalismo” (Sober 1999, p. 5). Como previamente había aceptado en el texto de 1994 escrito junto con Forster, cuando dos teorías puedan ser predictivamente equivalentes en un momento dado, la simplicidad y el anhelo unificacionista pueden hacer la diferencia: no solo la simplicidad puede promover una predictibilidad más eficaz, sino que puede sentar las bases para forjar futuras teorías predictivas más poderosas. Sin embargo, tampoco debe asumirse la simplicidad o la complejidad como valores en sí mismo. El único valor para el instrumentalista es la predictibilidad, y todo aquello que contribuya a ello, ya sea para predicciones presentes o para potenciales predicciones futuras, marcará la diferencia.

Por otro lado, la relación entre las posturas antirrealistas y el empirismo ha resultado onerosa para el instrumentalismo. En efecto, se han formulado críticas que han sido eficazmente construidas contra el empirismo constructivo de van Fraassen, pero que, injustamente, han salpicado al instrumentalismo. En parte, la supuesta contundencia de estas críticas contra las posturas antirrealistas es consecuencia de que, en la actualidad, estas posturas han sido paradigmáticamente configuradas en torno a van Fraassen, para quien la distinción entre entidades teóricas y empíricas resulta apremiante. Contra esta distinción, la acusación formulada desde posturas realistas contra el empirismo constructivo de van Fraassen es que, dada la vaguedad y la dificultad para establecer la distinción entre términos teóricos y términos empíricos, no hay razones significativas para justificar las diferentes actitudes epistémicas que se tiene para con estos términos. Sin embargo, esta crítica atenta contra el empirismo constructivo pero no contra el instrumentalista. Como afirma Fine, “no hay dos estándares epistemológicos, solo uno, y se aplica de manera

imparcial, con justicia para todos”: pasamos de un conjunto objetos de los cuales confiamos que son útiles para algo, a otro conjunto de objetos de los cuales también confiamos que son útiles para algo. El instrumentalismo no debe mirar con particular recelo las proposiciones que postulan objetos teóricos, porque el instrumentalismo ni siquiera es producto de una tesis sobre proposiciones sino sobre los problemas de prueba (Sober 2008). Pero, a su vez, el instrumentalismo, a diferencia del empirismo constructivo de van Fraassen, puede desembarazarse de la distinción ya que en definitiva no es eso lo que importa. En efecto, a diferencia de lo que prescribe van Fraassen, la distinción entre términos empíricos y términos teóricos no importa porque el problema ni siquiera radica en ello. Para entender por qué esta distinción no es tan relevante habría que considerar que, así como la observación no puede discriminar entre “es cierto que los electrones se mueven alrededor del núcleo” y “es empíricamente adecuado, pero falso, que los electrones se mueven alrededor del núcleo”, tampoco puede discriminar entre “lo que tengo enfrente es una computadora” de “es falso que lo que tengo enfrente sea una computadora aun cuando toda la evidencia que pueda disponer indica que tengo una computadora” (cfr. Sober 2008). Es decir, puedo creer, o no, que existen los electrones así como puedo creer, o no, que existe esta computadora, porque en realidad la pregunta por la existencia, de los electrones y de la computadora, no es relevante para la práctica científica; lo único relevante es si la postulación de los electrones me sirven para hacer predicciones exitosas y si la computadora continúa funcionando para que termine la presente tesis. O, para decir lo mismo, pero desde su contrario, Stein se pregunta por qué, para el realista, el término ‘éter’ no logró referir mientras que el antiguo término ‘átomo’ sí: “¿Por qué, es decir, excepto por la razón superficial de que la palabra ‘átomo’ todavía se usa en los libros de texto, la palabra ‘éter’ no?(...) Los dos casos –el del éter y el de los átomos– son tan similares que la distinción radical hecha entre ellos por los realistas referenciales confirma en mí la sospecha antecedente de que esta preocupación por la referencia y –y asociada a ella– la preocupación por lo que se llama la «ontología» de las teorías, es una distracción de lo que realmente importa.” (Stein 1989, pp. 56-57)⁵².

⁵² Esto no significa que la discusión metafísica no tiene sentido. Lo que no tiene sentido, como aceptan Giere, Carnap, Schlick y los pluralistas ontológicos, es preguntarse por lo que existe en términos de una realidad metafísica. Pero la discusión metafísica excede el campo de lo existente y

Por último, para cerrar esta reivindicación de un nuevo instrumentalismo pasando revista a las presuntas insuficiencias que tradicionalmente se le han adjudicado al instrumentalismo, sería oportuno considerar la acusación que asume que las posiciones antirrealistas no resultan ni pretenden ser explicativas. Según los realistas, los antirrealistas deben renunciar a la explicación dado que aseveran que las regularidades son un hecho fáctico del mundo y punto. En este escenario, el realismo cree tener una ventaja: el realista, a diferencia del antirrealista, logra justificar y explicar el éxito predictivo o la adecuación empírica. Es así que, altaneramente, vociferan: “¡El éxito predictivo se debe a que existen las entidades teóricas que dan cuenta de la interrelación necesaria para el acontecimiento del fenómeno predicho!”; “las regularidades en el mundo se deben a que existen leyes que establecen una relación de necesidad entre los universales que son las que se instancian en aquellas regularidades empíricas”. Sin embargo, como afirma Stein, así como “a los positivistas les gustaba hablar de pseudo-preguntas; aquí tenemos una pseudo-respuesta” (Stein 1989, p. 54). Y esto es así para el primer caso, porque lo que se observa no se deriva necesariamente de las propiedades postuladas por la ciencia. En efecto, las interrelaciones efectivas en el mundo resultan insondables, y por lo tanto podrían ser otras. Y para el segundo, porque, cuando se postulan relaciones de necesidad entre universales abstractos, lo único que se logra es explicar algo oscuro con algo aún más oscuro. En este sentido, el instrumentalismo no renuncia a la explicación. Así como el realista alega que la mera coincidencia es una mala explicación, el antirrealista denuncia que la explicación realista también lo es.

Pero el instrumentalismo tampoco se limita a esto, porque puede explicar tanto o mejor la práctica científica. Cuando Popper sentenció que el instrumentalismo es un “credo estrecho y defensivo según el cual no podemos y no necesitamos aprender o entender más sobre el mundo de lo que ya sabemos. Un credo, además, incompatible con la apreciación de la ciencia como uno de los mayores logros del espíritu humano” (Popper 1963, p. 103), condenó para siempre a esta perspectiva como una posición mezquina que no lograba explicar el incesante intento de los científicos por resolver problemas de fundamentos. Problemas que podían no devenir de inconsistencia empírica alguna o que surgían con la

puede plantearse con un objetivo metodológico: pensar los sistemas, e introducirse en la discusión, en vistas a considerar cuál de ellos es el más adecuado para la práctica científica.

pura intención de expandir el campo de la investigación más allá de lo instituido. Desde esta perspectiva, el empirismo propio del instrumentalismo hacía que esta loable actividad quedara sin explicación.

Sin embargo, en primer lugar, si se entiende a la actividad científica como una actividad tendiente a la resolución de problemas teóricos y prácticos, resulta evidente que, desde el instrumentalismo, esta situación logra explicación: la necesidad de resolver algún problema teórico de consistencia y unificación, o incluso de promover la indagación cuando ningún problema inmediato parece acuciante, no se debe, o no tiene por qué deberse, a que el objetivo sea la verdad, sino a que se tiene confianza de que el refinamiento y el mejoramiento teórico puede resultar prometedor para la eficacia predictiva. Además, contrariamente a lo que se afirma usualmente, el instrumentalismo no solo explica lo mismo sino que explica más. Si el realista supone que las teorías actuales son verdaderas o aproximadamente verdaderas, y/o supone que, dado que la verdad absoluta y completa es inalcanzable, resulta suficiente la verdad parcial y aproximada, ¿cuál sería el sentido de continuar con la investigación teórica? O bien la motivación es la resolución de un problema, y para el caso las explicaciones instrumentalistas y realistas clásicos resultan satisfactorias, o bien, para el caso en que la investigación no surja sobre la base de un problema, el instrumentalista está más consustanciado con el carácter eminentemente abierto de la investigación científica. En efecto, para el realista la exploración de alternativas distintas a las concepciones teóricas actuales “tendrá un interés o una motivación bastante limitados, ya que su razón de ser se encuentra solo en la posibilidad relativamente pequeña que reconoce de que las teorías contemporáneas puedan finalmente resultar fundamentalmente erróneas. Por el contrario, el instrumentalista espera plenamente que incluso las mejores teorías actuales sean finalmente reemplazadas por herramientas conceptuales aún más poderosas y fundamentalmente distintas para pensar sobre la naturaleza” (Stanford 2006, p. 209).

Ahora bien, hay algo que el instrumentalismo no puede explicar. La mezquindad de esta perspectiva menoscaba la vitalidad de la actividad científica al privarle del éxtasis que supone la posibilidad de trascender lo humano. Frente a esto, irremediablemente, lo único que le queda al instrumentalista es aminorar el paso, bajar la cabeza, desahuciado, para

luego, levantando la vista, sonreír pensando en Dostoyevski, Tarkovski, Mariano Llinás, James Ellroy, Beethoven, Charly García y, por supuesto, Diego Armando Maradona.

Capítulo 5

Binomio modelo-teoría: el problema de la independencia

Resumen: En este capítulo abordaremos el problema de la representación cambiando radicalmente el eje de la discusión. Ante la existencia de modelos incompatibles y el problema que estos generan para la concepción representacionista de los modelos, se ha sugerido que la representatividad de estos puede quedar salvaguardados acudiendo al carácter representacional de la teoría que los contiene. Esta estrategia nos obliga a cambiar el eje de la discusión, pues la efectividad de esta propuesta descansa en que los modelos sean parte o dependan de un marco teórico. En este sentido, en este capítulo se analizará el binomio teoría-modelo, abordando críticamente la supuesta relación de dependencia entre sendos dominios. Para ello, en la Sección 5.2 se explicará en qué sentido la concepción semántica, y toda aquella concepción que pretenda apelar a esta estrategia, supone una perspectiva teórico-dominante. Desde esta perspectiva los principios teóricos se constituyen como los responsables de conformar toda la red de modelos que forman parte de una misma teoría. Para echar luz en relación al conflicto existente en torno a la dependencia o independencia de los modelos para con las teorías, en la Sección 5.3 se explicarán los alcances epistemológicos que se han obtenido como producto del análisis del modelo de los hermanos London sobre los superconductores. En este sentido, se evidenciará que la discusión mantenida entre los partidarios de la nueva concepción semántica (da Costa y French 1990, 1993, 2003; French 2003) y los partidarios de la denominada concepción *toolbox* de las teorías científicas (Cartwright, Shomar y Suárez 1995, Suárez 1999a; Suárez y Cartwright 2008) se encuentra en un *impasse* que hace que el modelo por ellos analizado resulte infructuoso para los propósitos buscados. Con el objetivo de superar este *impasse*, en la Sección 5.4 se introducirán los modelos moleculares con la expectativa de que estos nos permitan mostrar que existe una independencia conceptual y no meramente temporal o transitoria entre los modelos y la teoría. Para poder cumplimentar este objetivo, previamente, en la Sección 5.5, estableceremos las peculiaridades de la aproximación Born-Oppenheimer como una aproximación que se encuentra en el núcleo duro de la química cuántica. Luego de mostrar que la química cuántica contiene principios incompatibles que

conjuntamente convergen para la configuración de los modelos moleculares de un modo sumamente fructífero, en la Sección 5.6 analizaremos críticamente las distintas estrategias esgrimidas para minimizar la dificultad de aquellas situaciones donde diferentes principios inconsistentes convergen en un mismo marco disciplinar. Por último, en la Sección 5.7 concluiremos que, en química cuántica, la existencia de principios incompatibles al interior de un mismo modelo muestra que la independencia de este para con las teorías de referencia se constituye como fundamental y conceptual. Esto nos permitirá reforzar la concepción *toolbox* de las teorías, según la cual estas deben ser entendidas no como contenidos de creencias, sino como reglas o instrumentos útiles para la articulación de los modelos.

5.1 Introducción

Si se toman en consideración las funciones estándar que pueden cumplir los modelos según la bibliografía vigente, es posible distinguir dos grandes grupos: el punto de vista representacional y el punto de vista *instancial* (*instancial view*) (Gelfert 2016). Del mismo modo, Thomson-Jones (1997) establece una clasificación del modo en que puede entenderse la función de los modelos y asevera que, incluso al interior de la concepción semántica, los modelos interpretados como estructuras matemáticas pueden funcionar como artefactos representativos o como hacedores de verdad. El primer aspecto ya ha sido analizado críticamente en profundidad en los Capítulos 2, 3 y 4. A su vez en el Capítulo 1 hemos explicado la importancia teórica que la representación ha tenido en el contexto de la concepción semántica. Luego de diagnosticar que la concepción sintáctica resulta un esquema simplificado y equívoco ya que, entre otras cosas, la noción de interpretación como medio para vincular lo teórico con lo observacional resulta vaga y no logra dar cuenta del modo efectivo en que se desenvuelve el conocimiento científico, los partidarios de la concepción semántica proponen reemplazar el vínculo explicativo entre lo teórico y lo observacional por la noción de representación. Tenemos la esperanza de haber podido mostrar en los capítulos anteriores que la concepción semántica adolece de los mismos problemas: no solo la noción de representación resulta vaga ya que no hay acuerdo respecto de sus alcances ni de su significado, sino que tampoco permite captar ciertos aspectos

distintivos y constitutivos de la práctica científica, como es el caso de los modelos incompatibles.

Sin embargo, dejando entre paréntesis esta conclusión, podría afirmarse que el carácter eminentemente representacional de la actividad científica podría verse salvaguardado si la representación se pudiera preservar en el ámbito de las teorías. Podría aseverarse que el punto de vista “instancial” configura los modelos como ejemplares donde las leyes fundamentales de una teoría encuentran su lugar para determinar la dinámica y la evolución de los eventos que las teorías pretenden explicar. Si esto fuera así, por lo tanto, el lugar principal de la significación radicaría en la relación entre modelos y teorías. Es decir, frente a los modelos incompatibles, la representatividad estaría salvaguardada en lo que los partidarios de la concepción semántica llaman “modelos de alto nivel”: “desde este punto de vista, el problema de las inconsistencias mutuas planteadas por la proliferación de modelos en los niveles inferiores no infecta el contenido de nuestras creencias realistas. Cuando somos realistas sobre la teoría de alto nivel «mecánica cuántica», y creemos que el mundo de hecho contiene electrones (por ejemplo) según lo descrito por la mecánica cuántica, el contenido de esta creencia está fijado por la teoría de alto nivel y sus modelos. El papel de los modelos de datos y los modelos de mediación es establecer el vínculo entre la teoría de alto nivel y el mundo, de modo que se justifique nuestra afirmación de que nuestras creencias son sobre el mundo” (Brading 2011, p. 54). Esta posibilidad también es contemplada por Rueger quien afirma que “aunque una respuesta realista general a este argumento puede ser esquiva, el realista puede señalar aquellos casos en los que los modelos incompatibles pueden entenderse como diferentes aproximaciones de una teoría “unificada”; entonces se afirma que la última teoría es literalmente cierta.” (Rueger 2005, p. 580).

Quizás esta estrategia pueda resultar extraña, dado que la concepción semántica llegó precisamente para subvertir el orden, poner los modelos en el foco de atención y, aduciendo que en los modelos se encuentra el corazón mismo de las teorías científicas, negar que estas deban identificarse en función de sus leyes fundamentales. A su vez, podría resultar extraña porque la necesidad de preconizar los modelos estaba atada a la idea de que la generalidad de las teorías, en contraposición con la particularidad de los modelos, atentaba contra sus pretensiones representativas. En efecto, resulta indudable que en la atmósfera generada por

la concepción semántica (atmósfera que aún perdura) se impuso la idea, luego radicalizada por la obra de Cartwright *How the Laws of Physics Lie* (1983), que las teorías científicas no podían constituirse como elementos representativos en tanto que no podrían dar cuenta, por su grado de generalidad y abstracción, de las situaciones concretas que los disímiles fenómenos presentaban. Precisamente por esto los modelos surgían entonces como los articuladores naturales del conocimiento científico: “la física pretende representar el mundo, pero no lo representa en sus teorías sino en sus modelos” (Cartwright et al, 1995, p. 139).

Ya hemos explicado en los Capítulos 3 y 4 las dificultades que tienen los modelos para ser caracterizados como instrumentos representativos. En este capítulo se intentará criticar la posibilidad de instituir a las teorías como garantes de la representatividad de los modelos. Pero para ello, dado lo recientemente expresado, es necesario un paso previo: brindar un marco de legitimidad a la idea que intenta sustentar la representatividad de los modelos en las teorías científicas. Para ello, en primer lugar, podríamos afirmar que la supuesta imposibilidad de que las teorías sean representativas se sustenta en una falaz asociación entre nociones como “concreto”, “detallado” o “específico” y “representación”. En efecto, nada impide que, así como el modelo podría determinar aspectos específicos causales que son parte del fenómeno, las teorías también podrían brindar, aun desde su generalidad, aspectos causales marco que también son específicos y relevantes para el acaecimiento del fenómeno a explicar. En este sentido, como afirma Morrison, “nada de esto implica que el tipo de representación básica que obtenemos a través de la teoría sea necesariamente menos realista que la representación por modelos. En cambio, simplemente carece de los tipos de detalles específicos de cómo opera la causa en determinados tipos de situaciones. (...). En consecuencia, la distinción teoría/modelo no es captada por el poder representacional del segundo sobre la primera, ni por la relación abstracto/concreto” (Morrison 2007, p. 217). En segundo lugar, la bibliografía semanticista, como veremos más adelante, también sugiere explícitamente que, aun desde esta perspectiva, las leyes de las teorías científicas cumplen un papel primordial en tanto ordenadores de la estructura que conformará la familia de modelos; familia de modelos que, en definitiva, terminará constituyéndose como el aspecto identificatorio de una teoría científica. En este sentido la máxima semanticista que reza que “una teoría se presenta a través de *sus* modelos” impone, como veremos, un

punto de vista teórico-dominante. Los modelos terminan siendo siempre dependientes de los marcos teóricos impuestos por las leyes fundamentales, pues, caso contrario, ¿qué es lo que hace que un conjunto de modelos que refieren a disímiles dominios sean parte de la misma familia? Esta dependencia de los modelos respecto de las leyes fundamentales y especiales, que configura los primeros como instancias intermedias entre las leyes y el mundo, se contrapone con la perspectiva más reciente desarrollada por Morrison según la cual los modelos son *mediadores autónomos* que no dependen ni de las teorías ni de los datos. Mencionar esta contraposición (contraposición que será parte fundamental de este capítulo) resulta relevante porque evidencia que, para la concepción semántica, la mediación no es autónoma: los modelos se inscriben en el contexto de un marco teórico que los determina mediante una serie estructurada de especializaciones. Pero si esto es así, entonces, aun en el contexto de la concepción semántica, se podría argüir que la representatividad que no se logra encontrar en los modelos incompatibles producto de las rectificaciones pragmático-experimentales que introducen, puede reconducirse, hacia el marco teórico del que forman parte.

En el marco de esta propuesta general, el espíritu, los objetivos y los pasos argumentativos que seguiremos en este capítulo serán los siguientes. Mientras que en los capítulos anteriores nos hemos ocupado de la relación existente entre el binomio modelo-sistema target, sujetándonos para ello al análisis de la noción de representación, en este capítulo nos abocaremos a un segundo binomio constituido por la relación existente entre teoría y modelos. Para este fin, y en vistas a evaluar la estrategia que pretende radicar el carácter representacional de los modelos en las leyes fundamentales y especiales que determinan la dinámica de los eventos aludidos en los modelos científicos, analizaremos una noción subsidiaria pero constitutiva de esta estrategia: la noción de dependencia de los modelos respecto de la teoría científica. El objetivo final será evidenciar que los modelos son autónomos e independientes de los marcos teóricos, ya que no se constituyen como especializaciones de las leyes de una teoría. Esto, a su vez, permitirá realizar una lectura instrumentalista de las teorías científicas. En efecto, si los modelos no dependen del marco teórico, tampoco podrán constituirse como hacedores de verdad o instancias que pudieran confirmar las teorías científicas.

Ya habiendo explicado el espíritu de este capítulo y sus objetivos generales, nos resta aclarar los procedimientos argumentativos. En primer lugar, comenzaremos por explicitar ciertas tesis fundamentales acerca de los modelos científicos que pueden adscribirse a los representantes de la concepción semántica. En particular, tendremos que mostrar en qué sentido, a pesar de que esta perspectiva pone el foco en los modelos, continúa presa de una concepción teórico-dominante que instituye las teorías científicas, y en particular las leyes especiales o fundamentales de la misma, como principal elemento articulador del conocimiento científico. En forma subsidiaria, para no generar confusión, debemos analizar críticamente la noción de teoría supuesta en la concepción semántica con el fin de brindar una elucidación pertinente entre teoría científica y modelo científico. En segundo lugar, presentaremos el canónico debate en torno del modelo de los hermanos London (1935), que pone en escena la discusión sobre la dependencia o independencia de los modelos respecto de las teorías científicas. Esto nos permitirá identificar el núcleo argumentativo del debate, clarificando no solo las diferentes posiciones en disputa, sino también el estado en el que se encuentra actualmente el debate. En particular, argumentaremos que la discusión se encuentra en un *impasse*, dado que los desacuerdos no quedan confinados al modo en que se concibe la relación entre teorías y modelos, sino que se extienden a las consecuencias epistémicas en relación con el modo en que se interpreta la naturaleza y la función de las teorías en la ciencia. En tercer lugar, como estrategia propositiva, intentaremos superar el *impasse* mencionado apelando a un caso aún no debatido suficientemente por la bibliografía: los modelos atómicos y moleculares en química cuántica. Este caso nos permitirá argumentar que la independencia entre la o las teorías y el modelo no puede ser considerada, como lo hacen los partidarios de la concepción semántica, como una independencia meramente relativa e histórica. Por el contrario, el caso de los modelos en química cuántica pone de manifiesto una independencia conceptual, que se instituye como constitutiva del proceso de modelización, y que no puede concebirse como consecuencia de una deficiencia contingente de la teoría utilizada. Luego de explicar las peculiaridades de la aproximación Born-Oppenheimer, aduciendo que es un tipo de idealización especial que aún no ha sido identificada como tal por las clasificaciones vigentes en torno a los distintos tipos de idealización, concluiremos que los modelos moleculares, al integrar

constructivamente teorías incompatibles, constituyen un importante escollo para la concepción representacionista y para la concepción semántica.

5.2 La concepción semántica y el punto de vista teórico-dominante

Comencemos por explicitar ciertas tesis fundamentales acerca de la relación entre teorías y modelos, que son comunes tanto a la concepción sintáctica como a la concepción semántica de las teorías científicas (ver van Fraassen 1989; Díez y Moulines 1997; Suppe 2000; da Costa y French 2003; Portides 2005; Frisch 2005; Suárez y Cartwright 2008; Bailer-Jones 2009; Le Bihan 2012; Krause y Bueno 2017):

- (i) Los modelos dependen de las teorías.
- (ii) Un modelo de una teoría es tal que no conduce a contradicciones (relevantes) con la teoría.
- (iii) Las correcciones (des-idealizaciones) que se introducen en los modelos deben o bien derivar de o bien estar legitimados por la teoría.
- (iv) En ambos casos (derivación o legitimación), los modelos *deben ser* modelos *de* las teorías, ya que en definitiva son los “*hacedores de verdad*” de las teorías.

Estas cuatro tesis recogen el espíritu *teórico-dominante* (*theory-driven*) (Cartwright et al. 1995; Winsberg 2006; Suárez y Cartwright 2008; Cunningham 2008) de una concepción tradicional de las teorías científicas, en el sentido de que ponen de manifiesto la prioridad de la teoría y la consecuente dependencia de los modelos respecto de ella. Los modelos serían una suerte de mediadores entre las teorías y los fenómenos, puesto que las teorías solo pueden aplicarse a situaciones concretas mediante modelos específicos. Si esta interpretación es correcta, el conocimiento científico continuaría cifrado principalmente en las teorías, dado que los modelos serían meras instancias aplicativas de ellas. Recordemos que, según la concepción semántica (CS, en adelante), presentar una teoría es presentar el conjunto de sus modelos. Posteriormente se intentará especificar la aplicación “propuesta” o “pretendida” que identifica, entre los modelos del conjunto, aquel que se constituye como candidato para la representación de los fenómenos del mundo.

Ahora bien, tal como lo pregonan algunos defensores de la CS, lo que se sostiene no es que la teoría *se identifique* con, es decir, no sea más que el conjunto de sus modelos, sino

que la teoría *se presenta* a partir de ellos. Sin embargo, esta ineludible distinción, como veremos, no cancela la dependencia de los modelos respecto de la teoría: la CS no permite la presentación de las aplicaciones propuestas mediante una estructura conceptual extraña a la teoría de la cual los modelos dependen, ya que, si ello fuera posible, no habría relación entre la teoría y el mundo. La interdependencia pretendida entre la teoría y el mundo supone una interdependencia entre la teoría y aquello con lo cual la teoría se aplica al mundo: el conjunto de sus modelos. En este sentido parece ineluctable, desde esta concepción, sostener lo que se afirma en la tesis (i): los modelos dependen de las teorías. Y de ello se infiere de inmediato la tesis (ii): un modelo no puede conducir a contradicciones (relevantes) con la teoría de la cual depende.

Esto a su vez nos conduce a la tesis (iii): la dependencia de los modelos respecto de la teoría exige que, en el proceso de modelización, los cambios, correcciones o “des-idealizaciones” que se realizan en un modelo deban *o bien derivar o bien estar legitimados* por la teoría. La disyunción se vuelve pertinente frente a la insistencia de los defensores de la CS en afirmar que su perspectiva nunca supuso una relación de deducibilidad. Sería ingenuo y erróneo, sostienen, suponer que los modelos, que incorporan una variada articulación de elementos complejos y de distinto tipo, pudieran derivarse lógicamente de las teorías. No obstante, si bien es cierto que la CS no afirma la mera deducibilidad de los modelos a partir de la teoría, sí requiere que los cambios que se introducen en el modelo para una correcta adecuación con los fenómenos estén legitimados por ella. Para que el éxito del modelo sea tomado como evidencia en favor de la teoría, el proceso de modificación o des-idealización debe fundarse en la teoría misma. Y, según los defensores de la CS, esto es así por una excelente razón: una buena teoría no debería confiar en ajustes *ad hoc* para lograr una adecuada explicación del fenómeno bajo estudio. Tal como afirman Suárez y Cartwright (2008) recordando las tesis de McMullin (1985), “una actitud realista respecto de la teoría no necesita exigir que el modelo del fenómeno sea una consecuencia deductiva de la teoría, pero debe requerir que las simplificaciones introducidas en la descripción sean *legitimadas* por la teoría o por una descripción de los fenómenos que resultara aceptable de otro modo. Si así no fuera, la garantía no se trasladaría desde (la evidencia en favor de) el fenómeno a la teoría” (Suárez y Cartwright 2008, p. 67).

Y de aquí se obtiene entonces la tesis (iv): los modelos *deben ser* modelos *de* las teorías, ya que en definitiva son sus “*hacedores de verdad*”. Si quisiéramos expresarlo de un modo menos sintacticista, se podría decir que los modelos, al constituirse como instancias mediadoras entre la teoría y el mundo, le brindan a la teoría su contenido empírico (para un análisis de qué es aquello que, desde la perspectiva estructural, se constituiría como portador de verdad, ver French y Vickers 2011). En efecto, van Fraassen alega que “podemos pensar en los modelos [del espacio de estados de una teoría] como representantes de los mundos posibles permitidos por la teoría; uno de los mundos posibles está destinado a ser el real” (van Fraassen 1980, p. 47). Esto significa, ni más ni menos, que las leyes de la teoría son adecuadas solo si los fenómenos bajo estudio se ajustan a alguno de sus modelos. O que una teoría es verdadera si y solo si uno de los modelos *permitidos* por la teoría es el mundo real (da Costa y French 2003). En caso contrario, no habría modo de legitimar el fenómeno representado por el modelo como evidencia en favor de la verdad⁵³ de la teoría.

La legitimidad de la tesis (iv) queda evidenciada, a su vez, en la respuesta que brindan algunos defensores de la concepción semántica para intentar evitar alguna de las críticas que devienen del modo en que se caracteriza el carácter teórico-dominante de la CS. Le Bihan (2012), por ejemplo, aduce que las críticas a esta tradición están dirigidas solo a una versión estrecha y equívoca. Frente a esto propone una versión débil de CS que presuntamente le permitiría esquivar varias de las críticas. Pero su estrategia no es negar la tesis (iv), es decir, no es decir que esta tesis no le pertenece a CS, sino relativizarla aduciendo que existen dos modos en que esta tesis puede interpretarse. La primera versión sostendría que todos los modelos se deducen y se constituyen como *hacedores de verdad* de una y solo una teoría fundamental. Así enunciada, claramente la tesis (iv) no solo es errónea sino que, según Le Bihan, nunca podría ser parte del cuerpo teórico de CS. Para explicar por qué así expresada esta tesis no pertenece a CS, la autora apela al caso del modelo del plano inclinado. Este modelo no solo establece aproximaciones, sino que de hecho, afirma la autora, establece aproximaciones que devienen contradictorias con la teoría fundamental: contradiciendo la teoría de Newton este modelo supone gravedad

⁵³ Como dijimos en el Capítulo 1, es evidente que una estructura matemática, en tanto estructura, no puede ser verdadera o falsa. Por esto algunos autores diferencian entre una perspectiva extrínseca, que caracteriza a las teorías en términos de la clase de sus modelos, y una perspectiva intrínseca, que toma a la teoría como susceptible de ser objeto de nuestras creencias epistémicas (cfr. Suppe 1967; French y Ladyman 1997; da Costa y French 2003).

constante y, por tanto, ¿en qué sentido sería hacedor de verdad y en qué sentido un modelo no puede entrar en contradicción con la teoría? Si esto fuera así, entonces, las tesis (iii) y (iv) serían impropias de CS. Pero, no es solo esto lo que la autora establece. El segundo y más apropiado modo de interpretar la tesis (iv) es afirmar que los modelos son hacedores de verdad de las teorías mediante una especie de jerarquización de teorías y modelos; de modo tal que los modelos que son usados para representar el fenómeno serían modelos lógicos de varias teorías en lugar de una sola teoría. Bajo esta concepción, no habría una simple relación tripartita entre modelos, teoría y fenómenos, sino entre un conjunto de teorías escalonadas en el que cada una se construiría como hacedora de verdad de la que le antecede. De este modo, el modelo del plano inclinado no estaría localizado en el nivel de la teoría newtoniana sino en un nivel inferior: sería parte de un conjunto de modelos que corresponden a una teoría en la que la fuerza de gravedad es constante. Pero, entonces, bajo esta concepción las tesis (iii) y (iv) se mantienen. En efecto, aun cuando los modelos no se deduzcan lógicamente de una teoría sino que dependen de ella a través de estadios intermedios de idealización, sigue cumpliéndose que los modelos *dependen* de las teorías con el fin de ser, directa o indirectamente, sus *hacedores de verdad*.

En conclusión, sea en su versión débil o fuerte, lo único relevante para los fines de este capítulo es mostrar que CS suscribe en su totalidad a todas las tesis que caracteriza la concepción teórico-dominante de las teorías científicas.

5.2.a Modelos y teorías

Antes de continuar con la discusión en torno a la dependencia o independencia de los modelos para con las teorías, resulta conveniente hacer una pausa para aclarar ciertas cuestiones que, en el contexto de la concepción semántica, pueden generar confusión. En efecto, para que todo esto tenga sentido, y que lo que aquí queremos presentar no genere una confusión tal que le quite legitimidad e inteligibilidad a la propuesta del presente capítulo, es necesario analizar críticamente algunas nociones.

Tal como la CS suele ser presentada, surgen una serie de preguntas que podrían poner en cuestión todo lo que hasta aquí fue señalado. Pues ¿en qué sentido el conocimiento estaría cifrado en las teorías científicas si precisamente el rasgo primordial de la concepción semántica es haber puesto el foco en los modelos?; y, por otro lado, ¿cómo podría hablarse

de una relación entre teoría y modelos si desde esta concepción las teorías *son* sus modelos y se presentan a partir de ellos? Es decir, ¿cómo es que los modelos dependen de la teoría si la teoría no es más que un conjunto de modelos? A su vez, si las teorías no son entidades lingüísticas ni son algo distinto de sus modelos ¿cómo es posible pensar los modelos en términos de hacedores de verdad?; serían hacedores de verdad ¿de qué?

Evidentemente estas preguntas legítimas imponen un análisis de la noción de teoría y de modelo al interior de la CS. ¿Qué quiere decir que las teorías científicas se presentan a partir de sus modelos? ¿No era el caso que no había nada más que modelos? Y si así fuera, ¿a dónde se han ido las teorías? (Morrison 2007).

Para poder responder estas preguntas hay que considerar ciertos aspectos que impondrán la necesidad de volver a rescatar la distinción entre modelos y teorías. En primer lugar, afirmar que las teorías se reducen a sus modelos resulta simple y llanamente equivocado. Los modelos, diseñados para dar cuenta de fenómenos específicos, contienen un conjunto de restricciones empíricas y metodológicas y de aproximaciones matemáticas que nadie establecería como parte constitutiva de la teoría científica de referencia. En efecto, la dinámica propia de ciertos fenómenos, que se conceptualizan en términos generales mediante las leyes fundamentales de una teoría, requiere de un sinnúmero de especificaciones para que tales leyes puedan ser aplicadas a situaciones particulares. Los modelos suponen una cierta descripción del fenómeno, un recorte del evento a ser descrito, un conjunto de asunciones falsas, y ciertos recursos matemáticos que difícilmente puedan ser identificados con la teoría científica. ¿O acaso diríamos, por ejemplo, que el cálculo diferencial o las rectificaciones empíricas necesarias para configurar los modelos son parte de la estructura teórica de la física de Newton? (Morrison 2007). Intentar diluir estos inconvenientes apelando a una distinción entre modelos altamente idealizados y modelos empíricos tampoco resuelve el problema pues, realmente, ¿identificaríamos la teoría newtoniana con el modelo del péndulo ideal o diríamos que este es un modelo donde la teoría de Newton se aplica ejemplarmente? Dado que la concepción semántica adopta la noción tarskiana (Suppes 1960) de modelo, según la cual un modelo es aquello que satisface las restricciones impuestas por una teoría, ¿qué es lo que satisface un modelo si no hay nada más que modelos? ¿Acaso, en contraposición a la definición de Tarski, que

supone claramente una diferenciación entre teoría y modelo, puede decirse que un modelo satisface otro modelo?; y este último ¿qué satisface?

Pero, en segundo lugar, si el temor (injustificado) de caer en la concepción sintacticista conduce a anular la diferencia entre teoría y modelo, aduciendo que lo único que hay es un conjunto de modelos, ¿qué hace a este conjunto de modelos ser parte de la misma familia? Es decir, si los modelos no contienen un marco teórico que los excede sino que son las herramientas indicadas para tratar los fenómenos, ¿qué los hace ser parte de una teoría?, ¿qué quiere decir que una teoría se presenta a partir de sus modelos, si, estrictamente, no habría teoría más allá de ellos? Como afirma Morrison “independientemente de si uno se enfoca en desarrollos posteriores que enfatizan la noción de «estructura», los problemas asociados con definir una teoría únicamente en términos de modelos permanecen. Si una teoría es solo una familia de modelos, ¿qué significa entonces decir que el modelo/estructura es una realización de la teoría?” (Morrison 2007, p. 202).

Todas estas preguntas conducen hacia una sola dirección: si no se establece una distinción entre teoría y modelo, la concepción semántica pierde sentido. O, para decirlo de otra forma, si se anula la distinción, no solo “toda parafernalia incluida en los modelos se incluye automáticamente como parte de la teoría” (Morrison 2007, p. 201), sino que no habría forma de establecer lazos de familia entre los modelos. Al fin y al cabo, ¿qué es lo que hace que el modelo del péndulo ideal y el modelo de caída libre sean partes de la misma familia? La respuesta parece inequívoca: las leyes fundamentales de la teoría. La esencia de la mecánica newtoniana no es ni el modelo del péndulo ideal ni el modelo de caída libre, sino interpretar estos objetos en función de las fuerzas que se ejercen sobre él, fuerzas que se establecen a partir de las leyes fundamentales del movimiento brindadas en el marco de la teoría newtoniana. Precisamente estas leyes constituyen lo común a todos los modelos newtonianos, y son las que restringen el tipo de comportamiento admisible.

En consecuencia, por lo antedicho, aun cuando puedan leerse citas como “estamos precisamente rechazando cualquier diferencia estructural entre teorías y modelos” (da Costa y French 2003, p.53), y que esto redunde e incentive la confusión conceptual, lo cierto es que la concepción semántica ni anula ni puede anular la distinción. Pero además, como muestra bibliográfica de que esto no es el caso, resultan ilustrativas las citas de los semanticistas que se listan a continuación:

- Suppes 1962. “Un modelo de una teoría puede definirse como una posible realización en la que se satisfacen todos los enunciados válidos de la teoría” (Suppes 1962, p. 252).
- van Fraassen 1980. “Cualquier estructura que satisfaga los axiomas de una teoría [...] se llama un modelo de esa teoría” (van Fraassen 1980, p. 63).
- van Fraassen 1989. “Los modelos son estructuras matemáticas, llamados modelos de una teoría dada solo en virtud de pertenecer a la clase definida como los modelos de esa teoría.”(van Fraassen 1989, p. 366).
- French y Ladyman 1999. “Desde un punto de vista lógico, no es posible simplemente considerar los modelos y dejar de lado los axiomas, ¡porque los modelos son los modelos de estos axiomas! (French y Ladyman 1999, p. 114).
- Lorenzano 2013. “Los modelos se determinan a través de una serie de principios o leyes, que definen una clase de modelos” (Lorenzano 2013, p. 604).

Esta exposición nos ubica exactamente en el lugar buscado, ya que no solo evidencia el espíritu teórico-dominante de estas perspectivas, sino que también obtura cualquier tipo de identidad entre la concepción sintáctica y la concepción semántica. En efecto, quizás fue el temor de quedar envuelto en la concepción sintacticista lo que condujo a que se popularizara la idea de que la tesis semanticista (que disociaba la noción de teoría de sus leyes fundamentales) implicaba asimilar la teoría con el conjunto de sus modelos. Pero esto es incorrecto, innecesario y exagerado. Mientras que la concepción sintáctica interpreta a las teorías en términos enunciativos, aduciendo que las teorías científicas son sistemas axiomáticos blindados por una relación de clausura deductiva donde los modelos se constituyen como teoremas, la segunda interpreta que la teoría (tanto sus leyes como sus modelos) son estructuras matemáticas relacionadas por una relación de satisfacción o de isomorfismo parcial (cfr. van Fraassen 1989; French y Ladyman 1997). En este sentido, si bien puede resultar pertinente abandonar la concepción enunciativa de las teorías científicas por una que entienda las leyes y los modelos en términos de estructuras matemáticas, esto no implica que se deba abandonar la distinción entre teoría y modelo, ni que relacionar la teoría con sus leyes fundamentales implique un retroceso hacia anticuadas metodologías de análisis. Al reemplazar la noción de interpretación por la noción de satisfacción o isomorfismo parcial, aseverando que los modelos son aquellas estructuras que satisfacen o

se relacionan parcialmente con las estructuras formales brindadas por las leyes de la teoría, se brindan las herramientas lógicas necesarias para dejar de considerar las teorías en términos de entidades lingüísticas.

Pero, nuevamente, aunque no se puede afirmar que sean lo mismo, esto no implica que no tengan un núcleo compartido: ambas posturas, tal como fue señalado previamente, suponen un punto de vista teórico-dominante, pues precisamente en ambas la teoría científica, ahora si entendida como el núcleo fundamental que organiza todo el andamiaje teórico, se constituye como el criterio unificador de la producción científica. El carácter teórico-dominante es parte fundamental para cualquiera de las dos concepciones, porque la consistencia se impone como un criterio necesario en ambas. Si desde la concepción sintáctica se identifica la teoría científica mediante cláusulas cerradas y deductivas, la consistencia se impone como criterio porque en caso contrario la teoría devendría contradictoria y por lo tanto, trivial. A su vez, para la CS la condición de consistencia, hija de la noción de dependencia teórica, también resulta necesaria porque una teoría inconsistente no tendría ningún modelo: “Si pensamos en los modelos de una teoría como estructuras en las que las leyes o los axiomas de la teoría son verdaderos, entonces las leyes de la teoría deben ser consistentes. Porque una teoría con leyes inconsistentes no tiene modelos. (Frisch 2005, p. 7; cfr. también van Frassen 1989; Brown 1992; Suárez 1999a; Vickers 2009; Krause y Bueno 2017).

Hemos cumplimentado el primer objetivo. Darle sentido a la tesis teórico-dominante y explicar por qué la concepción semántica está fuertemente ligada a ella. Para poder mostrar el carácter instrumental de las teorías científicas nos resta ahora explicar la relevancia que la noción de independencia tiene en el contexto de esta discusión. Para ello, primero explicaremos el debate que se ha generado en torno al modelo de los hermanos London, para luego presentar los modelos moleculares en química como un caso superador en favor de la denominada concepción *toolbox* de las teorías científicas.

5.3. El debate en torno del modelo de los hermanos London

Como dijimos, el caso del modelo de los hermanos London (1935) solo será de utilidad para identificar el nudo problemático sobre el cual este capítulo pretende intervenir. En consecuencia, no nos detendremos en el análisis pormenorizado del modelo, ya que esta

tarea ha sido llevada a cabo por diversos autores (Cartwright, Shomar y Suárez 1995, French y Ladyman 1997, Suárez 1999a, Cartwright y Suárez 2008). El propósito será identificar el núcleo argumentativo de la discusión, clarificando no solo las diferentes posiciones en disputa, sino también el estado en el que se encuentra actualmente el debate.

Repasemos brevemente el problema suscitado en torno a los superconductores para evaluar su relevancia en el tema aquí planteado. En 1911, Heike Kammerlingh-Onnes y su alumno Gilles Holst descubrieron que la resistencia eléctrica del mercurio sólido caía abruptamente cuando se lo enfriaba a cierta temperatura crítica T_C cercana al cero absoluto. Esto se generalizó para diferentes materiales: para temperaturas $T < T_C$, donde T_C depende del tipo de material, se genera una “transición de fase” que convierte un conductor en un superconductor que permite el paso de corriente indefinidamente con una disipación insignificante de energía. Pero en 1933, Walther Meissner y Robert Ochsenfeld encontraron que, en presencia de un campo magnético, el superconductor “expulsa” todo el flujo magnético interior. Se denominó ‘efecto Meissner’ al hecho de que el campo magnético se hace nulo dentro del superconductor.

Lo desconcertante del caso se debía al hecho de que las variaciones de temperatura no permitía inferir, desde el marco teórico de referencia, modificación alguna en la estructura cristalina del material que justificara el cambio de comportamiento. En efecto, la ley de Faraday ($\text{rot } E = -dB/dt$) predice que, si el campo eléctrico E es nulo, se tiene que cumplir que la derivada temporal del campo magnético B también sea nula y, por lo tanto, el campo magnético B debe mantenerse constante en el tiempo. Según esta ley (o, en general, según las leyes de Maxwell), el flujo magnético a través de un metal no puede cambiar por modificarse la temperatura a un valor $T < T_C$.

El primer modelo exitoso que pudo dar cuenta del llamado ‘efecto Meissner’ fue el formulado por Fritz y Heinz London en 1935. Para que el modelo pudiera ser confeccionado los autores tuvieron que tratar un material ferromagnético (material cuyos momentos magnéticos se alinean frente a un campo magnético intenso) como si fuera diamagnético (material en cuyo interior se crea un campo magnético inducido opuesto al campo magnético aplicado exteriormente). Según el modelo, un mismo material, que es ferromagnético a temperaturas superiores a la temperatura crítica T_C , puede comenzar a comportarse fenoménicamente de modo diamagnético por debajo de T_C . En función a ello

los hermanos London formularon una ecuación para describir el índice o rango de expulsión del campo magnético:

$$\nabla^2 B = \lambda_L^{-2} B$$

donde la penetración de London λ_L , que mide el grado de penetración del campo magnético en el superconductor, depende de la cantidad de electrones por unidad de volumen que se encuentran en estado superconductor.

Más allá de los detalles técnicos mediante los cuales los hermanos London retuvieron las ecuaciones de los modelos clásicos que le permitían conservar la resistencia cero mientras introducían determinadas ecuaciones propias del diamagnetismo (ver Suárez 1997, 1999a, Suárez y Cartwright 2008), lo que aquí resulta relevante es resaltar el carácter fenomenológico del modelo: este fue generado a partir de correcciones inducidas por el propio fenómeno, es decir, por la observación del efecto Meissner. En efecto, la riqueza epistémica de este caso estriba en que, como acuerdan los participantes del debate (ver da Costa y French 2000, Suárez 1997, Suárez y Cartwright 2008), las correcciones realizadas para dar cuenta del extraño efecto no fueron generadas exclusivamente a partir del electromagnetismo clásico. Esta teoría no brindaba motivo alguno para considerar que ciertos materiales que eran ferromagnéticos se comportaran como diamagnéticos cuando adquirirían su temperatura crítica.

Por esto motivos, para algunos autores, el modelo de los hermanos London, interpretado como un modelo fenomenológico, pondría en cuestión el punto de vista teórico-dominante de la CS: no sería la teoría, sino el fenómeno, el que se constituiría como regente del proceso de modelización. En este sentido, Suárez (1999a) sostiene que no es cierto que una buena teoría ya contenga implícitamente en sí misma el modelo representativo adecuado en un sentido relevante. Si bien el modelo de los hermanos London utiliza indudablemente recursos de la teoría electromagnética clásica, esta teoría por sí sola no daba las herramientas necesarias para formular el modelo. Para ello se requirió el conocimiento empírico del efecto Meissner, ya que fue este, a contramano de lo que prescribía la teoría vigente, el que posibilitó pensar la analogía entre los materiales ferromagnéticos y los diamagnéticos.

En resumen, estos autores afirman que los inputs necesarios para la construcción del modelo no solo fueron instituidos *ad hoc*, sino que contradecían la teoría vigente: a

contramano de la teoría electromagnética aceptada en la época, se consideró un material ferromagnético como diamagnético (ver análisis detallado en Suárez 1997, 1999a). Sobre esta base, Suárez y Cartwright (2008) consideran que el modelo de los hermanos London pone en crisis las tesis propias de la CS. Este caso cuestiona el hecho de que los modelos dependan de las teorías y, consecuentemente, que puedan concebirse como sus hacedores de verdad. El modelo de los hermanos London pondría de manifiesto la existencia de modelos que no se desarrollan en términos de especializaciones a partir de un proceso de des-idealización de la teoría electromagnética vigente en 1933. En este sentido, la consecuencia epistemológica más importante en relación con el caso propuesto es que se presenta como un contraejemplo a la idea comúnmente aceptada según la cual es posible afirmar la verdad o inclusive la adecuación empírica de las teorías a través del comportamiento de sus modelos. En efecto, una pregunta epistemológica relevante en el contexto de la discusión sería: si los modelos no dependen ni surgen exclusivamente de la teoría, la compatibilidad entre los modelos y los fenómenos del mundo, ¿aumenta el grado de verosimilitud de las teorías?; o, al menos, ¿se relaciona con la verdad de ella? Nótese que estas preguntas no dependen de los clásicos problemas relacionados con los procesos de abstracción y/o idealización sobre el sistema que se pretende representar. Por el contrario, lo que aquí se pone en juego es la posibilidad de obtener elementos en favor de la representatividad de las teorías a partir del éxito de sus modelos, pues precisamente lo que nos preguntamos es si puede decirse que las teorías posean algo así como “sus” modelos.

5.3.a Dependencia, representatividad y “hacedores de verdad”

Por lo antedicho, el modelo de los hermanos London se convirtió en un ejemplo paradigmático en la discusión acerca del papel de los modelos entre los partidarios de la CS, como Steven French, James Ladyman, Otávio Bueno y Newton da Costa (French y Ladyman 1997, 1998, 1999, Bueno 1997, da Costa y French 2000, 2003, Ladyman 1998, 2002, French 1999, Bueno, French y Ladyman 2002), y los partidarios de una concepción instrumentalista, denominada en ocasiones concepción ‘*toolbox*’ de las teorías, representada por Suárez, Cartwright y Shomar (Cartwright, Shomar y Suárez 1995, Suárez 1997, 1999a, 2009, Suárez y Cartwright 2008).

Es importante resaltar que el modo en que se expuso el caso en la sección anterior es de común acuerdo; es decir, que los desacuerdos no giran en torno a los pormenores técnicos del ejemplo ni al modo en que el modelo fue formulado. La pregunta que se impone como piedra angular de las diferencias entre ambas posturas no es si efectivamente el modelo de los hermanos London es fenomenológico e independiente, sino, por el contrario, qué se entiende por fenomenológico, de qué tipo de independencia se trata y cuáles son las consecuencias epistémicas de esta independencia. En efecto, no se discute el hecho de que el modelo de la superconductividad no podía haber sido modificado sin el descubrimiento del efecto Meissner, ya que fue este efecto el que permitió pasar de la descripción de los superconductores como materiales ferromagnéticos a su tratamiento análogo a materiales diamagnéticos. Tampoco se discute que tal analogía no estaba legitimada por la teoría vigente ya que el modelo fue construido mediante estrategias *ad hoc* no respaldadas por la teoría.

Como veremos, las discrepancias involucran equívocos no reconocidos. Estos equívocos esconden el hecho de que los desacuerdos no resultan, como parecería cuando uno se aproxima por primera vez al tema, de una diferencia apreciable respecto de lo que se entiende por 'independencia'. Los desacuerdos se refieren más bien a la *relevancia epistémica* de tal noción en el marco de la filosofía de la ciencia en general y de la filosofía de los modelos en particular; y principalmente, a las consecuencias que de tal independencia, unánimemente reconocida, pueden extraerse respecto de la función y el estatus de las teorías científicas.

Pero entonces ¿cómo debe entenderse la noción de independencia y qué implicancias tiene? En primer lugar, debe señalarse que existe un acuerdo general en cuanto a que dependencia y deducibilidad no deben asimilarse: cuando los partidarios de la CS afirman que los modelos dependen de las teorías, no pretenden con ello afirmar una relación de deducibilidad. Por su contraparte, en detrimento de lo que opinan los revisionistas como Le Bihan, que aducen que las críticas caricaturizan la CS, los críticos no pretenden establecer tal asimilación: la independencia de ningún modo se obtiene de la no deducibilidad. El análisis de la dependencia teórica no se refiere a si existe una relación de deducibilidad de los modelos respecto de la teoría (pues todos acuerdan en que no la hay), sino a cómo se justifican las modificaciones que se introducen en los modelos. La pregunta, por tanto, no

es por la relación lógica que existe entre la teoría y los modelos, sino hasta qué punto es posible aceptar o justificar un cambio en el modelo que no está legitimado o generado desde el marco teórico sin que ello repercuta en el carácter epistémico de las teorías.

En segundo lugar, evidenciar que existen cambios en los modelos que no están legitimados por la teoría vigente, y concluir que, por lo tanto, la teoría no cumple un papel rector, no significa que la teoría no tenga ninguna función. En efecto, autores como Steven French y James Ladyman erróneamente leen las críticas de tal modo cuando afirman que “la construcción del modelo de London y London no procedió fenomenológicamente, en el sentido de ser independiente de la teoría. Más bien se procedió considerando el contexto histórico previo y, en particular, preguntándose qué podía retenerse de tal contexto a la luz del trabajo de Meissner. Aún más, la propuesta de London y London no se elaboró en un vacío teórico” (French y Ladyman 1997, p. 382). Asimismo, Newton da Costa y Steven French sostienen que “tales modelos pueden funcionar independientemente (...), pero no son tan independientes de toda teoría” (da Costa y French 2000, p.124).

Esta línea de defensa de la CS no da en el blanco ya que de ningún modo los críticos de la CS alegan que los modelos pueden formularse en un vacío teórico: “Por supuesto, estamos de acuerdo en que el contexto teórico amplio viene dado por las ecuaciones de Maxwell –ese fue nuestro punto de partida” (Suárez y Cartwright 2008, p. 70). En este sentido, lo que los críticos destacan es que no había nada en la teoría electromagnética aceptada hasta 1933 que permitiera usar la Ley de Ohm para algunos materiales y mantenerla suspendida para aquellos que se convirtieran en superconductores. Como así tampoco no había nada (más allá de la analogía con el diamagnetismo generada gracias al descubrimiento del efecto Meissner) que habilitara a modificar las ecuaciones para que permitieran dar cuenta conjuntamente tanto de la resistencia cero como de la expulsión del campo magnético (para un desarrollo de las modificaciones en las ecuaciones, ver Suárez 1999a y French y Ladyman 1997).

En síntesis, bien entendida la discusión el meollo del asunto no reside en negar la utilidad de las teorías, sino en determinar su función. En ocasiones, la línea de defensa de la CS se fundamenta sobre el supuesto de que los interlocutores prescriben algún tipo de independencia absoluta de los modelos respecto de la teoría. Por el contrario, la crítica a la concepción teórico-dependiente no requiere ni supone una prescindencia de las teorías.

Simplemente advierte que los cambios en los modelos no pueden ser interpretados como meras des-idealizaciones o especializaciones dirigidas a representar los fenómenos con mayor detalle y precisión. Es decir, que en ocasiones, las rectificaciones necesarias, aun cuando se dan en un marco teórico de referencia, no están legitimadas por este.

En tercer lugar, esto nos conduce hacia la necesidad de establecer otra clarificación conceptual que también ha dado lugar a ciertos malentendidos. El caso del efecto Meissner no evidencia meramente que la experiencia guía el proceso de modelización: esto, en general, es ineludible en ciencias fácticas y nadie lo pone en duda. En este sentido, cuando se afirma que el modelo de los hermanos London es un modelo fenomenológico no se pretende señalar el papel central de la experiencia en la formulación del modelo. Con ello simplemente se pretende evidenciar, nuevamente, su independencia: que el modelo es fenomenológico significa que introduce modificaciones que no solo fueron motivadas por la evidencia empírica, sino que, y fundamentalmente, carecían de un respaldo teórico en el contexto de la ciencia del momento.

Ahora bien, como dijimos, en el contexto de este debate, las diferencias conceptuales no se encuentran confinadas al problema del modo que se relacionan las teorías y los modelos, sino que presentan consecuencias epistémicas sumamente relevantes respecto del modo en que se interpreta la naturaleza y la función de las teorías en la ciencia.

Para Suárez y Cartwright, la relativa independencia de los modelos respecto de las teorías permitiría concebir el papel de las teorías de un modo diferente del tradicional. Según estos autores, la teoría no podría ser confirmada ni podría garantizar la representatividad de los modelos precisamente porque, tal como muestra el caso de la superconductividad, no existiría nada como “*sus*” modelos. Dado que algunos modelos no se obtienen a partir de las teorías, ni el éxito de aquellos aumentaría la confirmación de estas, no sería viable intentar salvaguardar la representatividad de las teorías a través de modelos que no le pertenecen. En este sentido, la CS, específicamente la tesis de cobertura o dependencia legal, no sería una interpretación adecuada o suficiente para explicar la práctica científica. Por ello, Suárez y Cartwright (2008) abogan por una interpretación de las teorías científicas que no las conciba como estructuras abstractas representativas susceptibles de ser verdaderas o falsas, sino como instrumentos útiles para la construcción de modelos.

En cambio, Bueno, French, Ladyman y da Costa pretenden minimizar las consecuencias epistémicas de la ya reconocida independencia entre modelos y teoría, afirmando que tal independencia es *relativa y temporal*: “un modelo puede parecer «autónomo» en el sentido de que, *en el momento en que fue propuesto*, no quedaba claro cómo podría obtenerse de una teoría de alto nivel de un modo más o menos directo” (Bueno, French y Ladyman 2002, p. 515) (ver también da Costa y French 2000). Para estos autores, el modo en que se instituyó el modelo de los hermanos London sería una “anomalía” circunstancial y, por tanto, debería ser considerado solo como un modelo *preliminar* superado por la teoría BCS, propuesta en 1957 por John Bardeen, Leon Cooper, y John Robert Schrieffer. A su vez, como estrategia, subvierten el orden, y en vez de hablar de independencia relativa, intentan robustecer la dependencia (relativa) entre teoría y modelo apelando a un isomorfismo parcial. Esto les permitiría evaluar el modelo de los hermanos London sobre la base de la estructura que pudo retener: “el valor heurístico de la analogía puede también ser explicado en términos de similitud de estructura, entendida a su vez mediante el isomorfismo parcial entre las estructuras teóricas involucradas.” (French y Ladyman 1997, p. 384).

Alcanzado este punto, la discusión entre los defensores y los críticos de la CS parece estancarse en una suerte de *impasse* puesto que, habiéndose acordado acerca de la *relativa* independencia del modelo respecto de la teoría, las dos partes no acuerdan respecto de las consecuencias epistémicas que de ello puede extraerse. De este modo, el extensamente discutido caso del modelo de los hermanos London, a pesar de su riqueza histórica y conceptual, no brinda elementos suficientes para dirimir la cuestión en favor de una u otra postura.

Por este motivo resulta interesante buscar algún otro caso que, en tanto ejemplo del modo en que se relacionan teorías y modelos, permita incorporar aspectos ausentes en el caso de la superconductividad. Aquí propondremos un caso prototípico de la química cuántica donde teorías incompatibles contribuyen a la formulación de un mismo modelo. La expectativa que subyace a esta propuesta consiste en que, aun cuando los ejemplos propuestos no conduzcan a un acuerdo final acerca de la relación entre teorías y modelos, brinden nuevos elementos que contribuyan a superar el estancamiento en el que se ha sumido la discusión.

5.4 Modelos atómicos y moleculares: la aproximación

Born-Oppenheimer

Con el advenimiento de la mecánica cuántica en la década de 1920, el estudio de átomos y moléculas logró consolidar un espacio interdisciplinar denominado ‘química cuántica’, donde se conjugan los dominios de la química y la física: química estructural y mecánica cuántica convergen en los intentos por describir la estructura molecular, propiedad que cumple un papel central en la explicación de las propiedades químicas de las sustancias.

El modelo más básico en este campo disciplinar es el del átomo de hidrógeno. Se trata de un modelo de gran interés químico pues representa el sistema más sencillo en este ámbito, compuesto por un núcleo (que contiene un protón en el caso del protio) y un electrón. Además, este modelo brinda las herramientas formales para la descripción de sistemas polinucleares de uno o más electrones. En efecto, el modelo del átomo de hidrógeno cuenta con la ventaja de ser uno de los pocos sistemas de interés químico que admite una solución exacta de la ecuación de Schrödinger. Para todos los demás casos, solo es posible obtener soluciones aproximadas que generalmente están basadas en las soluciones del átomo de hidrógeno.

Para construir este modelo, formalmente se utiliza la ecuación de Schrödinger independiente del tiempo o ecuación de Schrödinger de estado estacionario:

$$H_{tot} \Psi_i = E_i \Psi_i$$

donde H_{tot} es el operador Hamiltoniano total, que permite calcular los valores posibles de la energía total del sistema representados por los E_i , y los Ψ_i corresponden a la función de onda, elemento central de la mecánica cuántica en tanto representa el estado cuántico del sistema. Esta ecuación también puede concebirse como la ecuación que brinda los autovalores E_i , y los autoestados Ψ_i del operador Hamiltoniano.

Para encontrar las soluciones de la ecuación de Schrödinger, el átomo de hidrógeno se modela como un sistema compuesto de un núcleo de masa M y carga e y un electrón con carga $-e$ y masa m_e , donde e es la carga del electrón. El operador Hamiltoniano para este tipo de sistemas contiene dos términos de energía cinética, uno para cada partícula, y un potencial asociado a la atracción electrostática entre el núcleo y el electrón. Los términos de energía cinética del núcleo E_{KN} y del electrón E_{Ke} tienen la siguiente forma:

$$E_{KN} = \frac{P_N^2}{2M} \quad E_{Ke} = \frac{p_e^2}{2m_e}$$

donde P_N y p_e son los operadores de momento del núcleo y del electrón, respectivamente. Para describir la interacción entre ambas partículas puntuales se introduce el potencial de Coulomb:

$$V = -\frac{e^2}{|R_N - r_e|}$$

donde R_N y r_e son los operadores posición del núcleo y del electrón respectivamente. El Hamiltoniano total resulta, entonces:

$$H_{tot} = \frac{P_N^2}{2M} + \frac{p_e^2}{2m_e} - \frac{e^2}{|R_N - r_e|}$$

Cuando este Hamiltoniano se introduce en la ecuación de Schrödinger, se obtiene:

$$\left(\frac{P_N^2}{2M} + \frac{p_e^2}{2m_e} - \frac{e^2}{|R_N - r_e|} \right) \Psi = E_i \Psi$$

cuya solución brinda los valores posibles E_i de la energía total del sistema.

Para el caso de los sistemas polinucleares, como las moléculas, la modelización no es tan sencilla, pues para obtener la solución de la ecuación de Schrödinger es necesario introducir aproximaciones. Utilizando los subíndices α, β, \dots para designar a los núcleos y los subíndices i, j, \dots para designar a los electrones, y llamando Z al número atómico de cada átomo, el Hamiltoniano total de una molécula genérica tiene la siguiente forma:

$$H_{tot} = \sum_{\alpha} \frac{P_{\alpha}^2}{2M_{\alpha}} + e^2 \sum_{\alpha < \beta} \frac{Z_{\alpha} Z_{\beta}}{|R_{\alpha} - R_{\beta}|} + \sum_i \frac{p_i^2}{2m_e} - e^2 \sum_i \sum_{\alpha} \frac{Z_{\alpha}}{|r_i - R_{\alpha}|} + e^2 \sum_{i < j} \frac{1}{|r_i - r_j|}$$

donde el primer término representa la energía cinética de los núcleos, el segundo, la energía potencial debida a la interacción entre los núcleos, el tercero, la energía cinética de los electrones, el cuarto, la energía potencial debida a la interacción entre los núcleos y los electrones, y el último, la energía potencial debida a la interacción de los electrones entre sí. A diferencia del caso de los sistemas hidrogenoides, este tipo de ecuación carece de

solución analítica; por lo tanto, su tratamiento exige ineludiblemente la introducción de aproximaciones.

La aproximación que se encuentra en el corazón mismo de la química cuántica es la llamada aproximación de Born-Oppenheimer (en adelante, ABO) (Born y Oppenheimer 1927), que permite calcular los niveles de energía de moléculas complejas mediante el recurso de separar la función de onda de la molécula en su componente nuclear y su componente electrónica.

La ABO procede en dos pasos. En el primer paso, la energía cinética de los núcleos se elimina del Hamiltoniano total. Por lo tanto, el Hamiltoniano electrónico resulta

$$H_e = e^2 \sum_{\alpha < \beta} \frac{Z_\alpha Z_\beta}{|R_\alpha - R_\beta|} + \sum_i \frac{p_i^2}{2m_e} - e^2 \sum_i \sum_\alpha \frac{Z_\alpha}{|r_i - R_\alpha|} + e^2 \sum_{i < j} \frac{1}{|r_i - r_j|}$$

donde ahora se suponen los núcleos fijos en el espacio. Esto significa que las posiciones nucleares R_α ya no se representan mediante operadores, sino como escalares. Se trata de un Hamiltoniano electrónico porque los únicos operadores cuánticos corresponden a los electrones. Con este Hamiltoniano H_e , en lugar del H_{tot} , se resuelve la ecuación de Schrödinger. El segundo paso consiste en definir un Hamiltoniano efectivo de la molécula, sumando el Hamiltoniano electrónico y considerando la energía calculada en el primer paso como un campo externo.

Es claro que la aproximación crucial de la ABO se introduce en el primer paso, donde las interacciones entre los electrones y los núcleos son tratadas en términos de electrones sometidos a un potencial coulombiano producido por núcleos fijos en posiciones definidas. Precisamente por ello, este paso de la ABO se conoce como *aproximación de núcleo fijo* (*clamped-nucleus approximation*), y constituye una estrategia básica en química cuántica para la descripción de la estructura molecular. En efecto, en la práctica el químico cuántico comienza por postular una estructura dada por las posiciones fijas de los núcleos en el espacio, tal como se supone en la química estructural (no-cuántica) que se ocupa de la descripción geométrica de las moléculas. Dicha estructura genera una “superficie” de energía potencial en el espacio de las fases del sistema, “sobre” la cual se calcula el comportamiento de los electrones. Los resultados de estos cálculos son los que finalmente se comparan con los resultados empíricos para conservar o descartar la estructura

geométrica previamente supuesta. Tal como afirma Hasok Chang “asumiendo que el núcleo se encuentra fijo en el espacio en sus lugares «clásicos», los químicos son capaces de usar la mecánica cuántica para calcular otros aspectos de moléculas tales como longitudes y energías de enlace precisas” (Chang 2015, p. 198; para una discusión general acerca de la relación entre química molecular y mecánica cuántica, ver Lombardi y Labarca 2005; Lombardi 2014).

Desde el punto de vista teórico, los modelos derivados de la ABO utilizan al menos dos insumos: (i) el formalismo de la mecánica cuántica, a través de la ecuación de Schrödinger en su versión independiente del tiempo, y (ii) las nociones de la química estructural, según las cuales los núcleos se modelan como partículas clásicas que conducen a posibles configuraciones nucleares. Sin embargo, las dos teorías, la química estructural y la mecánica cuántica, son claramente incompatibles: la suposición de núcleos fijos en posiciones definidas en el espacio es incompatible con el Principio de Incertidumbre de Heisenberg, según el cual las partículas cuánticas no pueden tener simultáneamente valores bien definidos de posición y momento.

Esta incompatibilidad ha sido señalada desde diferentes perspectivas. Por ejemplo, en palabras de los químicos teóricos José Luis Villaveces y Edgar Daza, la estructura molecular “ha sido asociada a modelos geométricos. En la mayor parte de la bibliografía química cuántica, una estructura se identifica con un solo punto en el espacio de coordenadas nucleares R . Este modelo está en contradicción con el principio de incertidumbre de Heisenberg, ya que otorga una posición única y bien determinada a cada núcleo.” (Villaveces & Daza, 1990, p. 161). Hasok Chang también es explícito en este punto cuando afirma: “En esta aproximación de «represión», los núcleos atómicos se tratan esencialmente como partículas clásicas; [. . .] Esta imagen no es cuántica de una manera muy fundamental, ya que la asignación simultánea de posiciones fijas y momentos fijos (a saber, cero) a ellos viola el principio de incertidumbre de Heisenberg. Pero sin ese escenario clásico, los cálculos cuánticos son bastante imposibles.” (Chang, 2015, p. 198).

La ABO juega un papel central en la discusión sobre la estructura molecular y su posible reducción a la mecánica cuántica. Como se explicó anteriormente, el núcleo de la ABO se basa en asumir los núcleos como partículas clásicas en reposo en una posición definida, desafiando el principio de Heisenberg. A su vez, mientras que la ABO asume que la energía

de toda la molécula y las posiciones de los núcleos tienen valores definidos, el formalismo de la mecánica cuántica, dada su contextualidad, no proporciona una regla que seleccione los observables de valores definidos de un sistema cuántico (ver discusión en Lombardi y Castagnino, 2010). Además, el Hamiltoniano efectivo resultante de la aplicación de la ABO ha perdido las simetrías correspondientes a la molécula concebida como sistema cuántico (Hendry 2010; Sutcliffe y Woolley 2012; Fortin y Lombardi 2021). Estas características constituyen una profunda ruptura conceptual que representa un obstáculo insuperable para la reducción de la estructura molecular a la mecánica cuántica (Woolley 1978).

Ahora bien, dado que por ejemplo, el modelo del plano inclinado, al suponer gravedad constante, contradice las leyes de Newton, qué particularidades específicas tiene este caso. Con el objetivo de poder establecer las conclusiones que en este capítulo se pretenden, esta legítima duda nos obliga a hacer un rodeo argumentativo y preguntarnos ¿qué tipo de aproximación es la aproximación Born-Oppenheimer?

5.5 Diferentes clases de idealizaciones

La necesidad de introducir este interludio se debe a que, si la denominada aproximación Born-Oppenheimer estuviera incluida dentro de las clasificaciones profusamente analizadas en la bibliografía actual, podría ser enmarcada dentro de algunas de estas clasificaciones ya establecidas y analizadas. Si esto fuera así entonces la novedad quedaría disuelta y los objetivos aquí pretendidos se verían debilitados.

Para abordar tales clasificaciones y que el espíritu de este capítulo cobre sentido, primeramente deberíamos considerar un malentendido existente en la bibliografía que merece ser discutido para que la noción de idealización tenga derecho propio. El proceso de idealización se caracteriza comúnmente en términos negativos, como representación falsa, distorsión o simplificación del sistema target. Por ejemplo, McMullin (1985) describe una idealización como una simplificación deliberada de algo complejo. Liu (1999), Jones (2005) y Knuuttila (2008), a su vez, afirman que se distorsiona o tergiversa el sistema target al presentarlo con propiedades que no tiene. Asimismo Weisberg (2013) considera que un modelo es una idealización cuando no logra representar algunos aspectos importantes del sistema. Ahora bien, si esto es así, es decir, si el proceso de idealización implica cierta deficiencia, entonces la respuesta a la pregunta sobre la fuente del conocimiento en los

modelos científicos, así como sobre su poder representativo, debe justificarse en términos de una potencial des-idealización. Una actitud realista sobre el modelo exige que las variables omitidas puedan ser reintroducidas cuando se desee una descripción más precisa del fenómeno. Sin embargo, este desideratum no siempre puede cumplirse. Introducir demasiadas variables en la descripción no solo puede generar resultados inexactos, sino que anula directamente el cálculo y la capacidad inferencial del modelo. Por lo tanto, no solo des-idealizar el modelo suele ser una desventaja, sino que a veces reducir la diferencia entre el modelo y el sistema target es simplemente imposible. Todo esto nos conduce a pensar que, dado que caracterizar las idealizaciones como deficiencias implica una incomprensión del proceso de modelización, debemos atender los rasgos distintivos de esta categoría.

Para ello la presente sección apunta a dos propósitos diferentes pero complementarios. En primer lugar, analizaremos distintos tipos de clasificaciones entre las idealizaciones que la bibliografía filosófica ha propuesto durante las últimas décadas. El objetivo de esta revisión no es meramente analítico sino principalmente programático. Esto significa que el objetivo no es señalar que determinada clasificación sea incompleta o insuficiente, sino argumentar que, en general, no se ha tenido en cuenta una característica importante de las idealizaciones. Esta característica debe ser destacada porque se constituye como corazón del argumento en favor del instrumentalismo que aquí se quiere defender. En este sentido consideraremos la aproximación de Born-Oppenheimer a la luz de las clasificaciones estándar. Esto nos permitirá concluir que la aproximación de Born-Oppenheimer es una idealización⁵⁴; en particular una peculiar idealización que no es susceptible de ser encuadrada en las clasificaciones estándar.

Para lograr estos propósitos primero analizaremos diferentes tipos de clasificaciones, poniendo especial énfasis en la que fuera brindada por Weisberg (2013). Esto nos permitirá explicar por qué es necesario introducir un nuevo criterio que contemple la ABO.

5.5.a Clasificaciones tradicionales de las idealizaciones

¿Cómo reducir la diversidad de idealizaciones posibles en un criterio coherente y

⁵⁴ La distinción entre idealización y aproximación ha sido ampliamente discutida (ver Rott 1989; Moulines y Straub 1994; Hartmann 1998; Liu 1999; Morrison 2005; Jones 2005; Norton 2012). En la Sección 6.2 explicaremos por qué, considerando los parámetros impuestos por Norton, la llamada aproximación Born-Oppenheimer es, en realidad, una idealización.

homogéneo que, sin ignorar la complejidad del asunto, nos permita comprender qué hacemos cuando idealizamos? En los últimos años se han propuesto varias clasificaciones. Aquí mencionaremos tres de ellas para luego focalizar en aquella que consideramos más completa, la que fuera brindada por Weisberg (2013). En su artículo “La idealización galileana”, McMullin (1985) distingue dos aspectos en la construcción de una idealización: formal y material. Los dos aspectos convergen en lo que el autor llama idealización galileana (IG). El primer aspecto consiste en simplificar las propiedades del sistema modelado que, si bien se sabe o se supone que intervienen en el fenómeno, pueden omitirse para facilitar la obtención de resultados. Por el contrario, el segundo aspecto consiste en dejar sin especificar ciertas propiedades del sistema que se consideran irrelevantes a los efectos del modelo. Ambos aspectos apuntan hacia la necesaria incompletud del modelo. Pero más allá de la especificidad de tal distinción, la principal característica de las IG es que son simplificaciones susceptibles de ser des-idealizadas con el único fin de generar una mejor comprensión del fenómeno. En efecto, gracias a estos procedimientos es posible obtener una imagen aproximada del sistema y captar el principal factor causal que explica su comportamiento.

En su discusión sobre el trabajo de McMullin, Morrison (2005) considera que el análisis de las idealizaciones en términos de IG no es suficiente. Ella afirma que no todas las idealizaciones son simplificaciones que proporcionan una mejor comprensión del fenómeno de interés: “la idealización no es simplemente la abstracción de propiedades particulares para facilitar el cálculo, como lo es el caso de la ley de caída de cuerpos de Galileo donde podemos dar cuenta de la resistencia del aire que fue ignorada en la formulación de la ley. En cambio, en muchos casos se hacen idealizaciones sin que exista un estándar independiente de comparación entre el modelo y el sistema” (Morrison 2005, p. 151). Desde la perspectiva de Morrison, si nos mantenemos atados a una concepción realista, según la cual un modelo idealizado es aproximadamente cierto, perdemos de vista aquellos modelos idealizados que no pueden compararse con el sistema target porque tal sistema no existe desde el principio. Como ejemplo, la autora apela al bosón de Higgs, que en el momento de su artículo aún no había sido detectado. Sin embargo, el hecho de que en la actualidad los físicos estén de acuerdo en la detección de la partícula de Higgs no necesariamente socava el argumento de Morrison. Por ejemplo, Winsberg (2006) apela a

modelos y simulaciones computacionales para los que es difícil o imposible obtener datos experimentales reales. En estos casos, la simulación reemplaza al experimento. Como ejemplo de lo que el autor considera casos de “fiabilidad sin verdad”, menciona los métodos de simulación que se utilizan para estudiar la estructura convectiva interna de las estrellas. En estos modelos, la simulación revela un patrón particular de flujo convectivo dentro de una estrella; pero la fiabilidad de esta información puede ser evaluada sin acceder al sistema.

Sin embargo, este no es el principal problema que Morrison pretende resaltar. Para mostrar los límites del IG, apela a casos en los que no tenemos idea de qué tan lejos está el modelo del sistema objetivo. De hecho, mientras que en IG hay una intuición del grado de desviación del sistema porque, en cierto sentido, las abstracciones o distorsiones aportan algún tipo de comprensión del mismo, con ciertos modelos no podemos decir nada específico al respecto. Por lo tanto, el poder cognitivo de este tipo de modelos no está determinado por el grado de similitud con el sistema, sino únicamente por su capacidad predictiva. Para ilustrar este caso, Morrison señala, nuevamente, los modelos incompatibles del núcleo que ya fueron presentados en el Capítulo 3. La autora concluye que las idealizaciones introducidas no brindan comprensión ni descripción sino que se utilizan con una finalidad meramente predictiva.

Sobre la base de las consideraciones anteriores, Morrison propone un nuevo criterio para clasificar las idealizaciones en función de la posibilidad de comparar el modelo con el sistema target. Sobre la base de este criterio, distingue dos tipos de idealizaciones. El primer tipo, llamado idealización computacional, es idéntico a la IG. Como ya se señaló, dado que podemos conocer el grado de desviación del modelo respecto del sistema, podemos estimar el grado de falsedad en el que incurre la idealización. En el segundo tipo de idealización no es posible conocer la distancia entre el sistema y el modelo. Así, esta llamada idealización heurística tiene un poder puramente predictivo. La principal característica de este tipo de idealizaciones es que, en algunos casos, pueden producir modelos incompatibles o pueden generar modelos que incluyan entidades ficticias. Por lo tanto, el modelador no puede saber qué tan falso es el modelo ni cómo es el sistema.

A partir de ahora nos centraremos en la clasificación instituida Weisberg, como aquella que ofrece una clasificación más amplia que pretende englobar la mayor parte de las

tipologías anteriores. Weisberg (2013) distingue tres tipos diferentes de idealización. El primer tipo es la ya conocida IG, cuyos ejemplos paradigmáticos son el modelo de caída libre que no contempla la resistencia e integra el supuesto de fuerza gravitatoria constante. Como suele admitirse, estas idealizaciones se introducen con el objetivo de simplificar el sistema y hacer que el modelo resulte tratable matemática o computacionalmente. Weisberg destaca dos aspectos que caracterizan este tipo de idealizaciones. En primer lugar, se justifican por motivos pragmáticos, es decir, en función de su utilidad práctica. El segundo rasgo es que no pretenden ni se proponen como permanentes porque o bien es posible, o bien se espera que sea posible, eliminar la idealización. Según Weisberg, aun cuando no sea posible construir un modelo completo, el proceso de des-idealización se tiene como una idea regulativa.

El segundo tipo de idealizaciones está dado por las denominadas idealizaciones mínimas (IM). Estas idealizaciones solo incluyen los principales factores causales necesarios para explicar el comportamiento del fenómeno. El modelo resultante suele ser muy simple y puede ser radicalmente diferente del sistema target correspondiente, porque solo conserva aquellos factores que marcan la diferencia para que ocurra el fenómeno. En consecuencia, un modelo mínimamente idealizado no tiene prácticamente detalles realistas: de hecho, no se espera ni aconseja añadir más detalles, ya que ello no implicaría una mejor comprensión de los factores que determinan causalmente el fenómeno. En este sentido, en el contexto de una IM no hay interés de generar el modelo más detallado y fiel posible, y, por lo tanto, no hay pretensión alguna de eliminar la idealización. Para Weisberg, una idealización mínima prototípica es el modelo de Ising: aunque es extremadamente simple ya que representa partículas (átomos, moléculas u otras partículas) como puntos que interactúan solo con sus vecinos y forman una red, es extremadamente poderoso en explicación de la transición ferromagnética. En este caso, los detalles realistas sobre los elementos del modelo no son necesarios ni deseables, porque lo único que importa son las interacciones entre esos elementos.

El último tipo de idealización considerado por Weisberg es la llamada idealización de modelo múltiple (IMM), que es similar a la idealización heurística propuesta por Morrison. Este caso consiste en la construcción de muchos modelos que conjuntamente pueden satisfacer los requisitos científicos de la situación particular. Al igual que IM, una IMM no

se justifica por la posibilidad de un procedimiento de des-idealización que conduciría a una representación completa. Sin embargo, a diferencia de los anteriores, por razones obvias en IMM no hay un solo modelo.

Teniendo en cuenta la clasificación de las idealizaciones propuesta por Weisberg, intentaremos analizar si la ABO puede ser explicada por alguna de ellas.

5.5.b ¿Qué tipo de idealización es la aproximación Born-Oppenheimer?

Para responder a esta pregunta, en primer lugar es necesario enfatizar brevemente que no estamos fusionando las nociones de aproximación e idealización. Podría pensarse que las aproximaciones son también una suerte de idealización, ya que podrían interpretarse como una herramienta que distorsiona el sistema, al atribuirle una propiedad que este no tiene. Sin embargo, consideramos que son conceptos diferentes y deben quedar diferenciados. Como subraya Rott (1989), mientras que una aproximación es principalmente una noción cuantitativa, una idealización es fundamentalmente una noción cualitativa. Norton (2012) introduce una distinción adicional: una aproximación es una descripción inexacta del sistema real, mientras que una idealización no es una descripción sino supone la constitución de un nuevo sistema. Como síntesis entre estas dos visiones, se puede afirmar que una aproximación es una noción cuantitativa que se aplica al sistema real, mientras que una idealización es una noción cualitativa que se aplica a un sistema ideal distinto. Más precisamente, las aproximaciones son procedimientos cuantitativos que se aplican a las variables utilizadas para describir las propiedades del sistema; por el contrario, las idealizaciones pueden introducir propiedades cualitativas que el sistema real no posee o que incluso son ajenas a la teoría que presumiblemente describiría el sistema real. Esta distinción es necesaria porque, aun cuando sea cierto que en muchos casos una idealización puede expresarse en términos de aproximación y/o viceversa, esto no resulta efectivo en todos los casos. Por ejemplo, cuando estudiamos la capacidad que tiene un objeto para deslizarse por la pendiente de una superficie muy lisa, podemos expresar la situación diciendo que la fricción es cercana a cero o que la fricción es cero. La primera descripción introduce una aproximación, porque el sistema no cambia, y la diferencia que introduce es meramente cuantitativa. La segunda descripción debe ser pensada en términos de una idealización porque se describe un sistema diferente: no el original, sino uno ideal que no

existe ya que no hay superficies sin fricción en el mundo. En este caso particular, somos libres de seleccionar una u otra descripción, y esta libertad es inocua y sin problemas. Sin embargo, este no es el caso en todas las situaciones. Hay algunos casos en los que este intercambio de nociones no es posible ni aconsejable (cfr. Norton 2012).

Estas clarificaciones conceptuales permiten afirmar que la ABO debe ser propiamente interpretada como una idealización. En primer lugar, la ABO no es una simple aproximación inocua que hace que la posición y el momento de los núcleos aun cuando no sea cero, se aproxime cuantitativamente a ese número. Por el contrario, suponer la “aproximación de núcleos anclados” y asumir que su posición y momento son cero, es definir simultáneamente ambos valores y esto contradice el principio de Heisenberg, una de las bases teóricas de la mecánica cuántica. En este sentido, la ABO introduce una ruptura conceptual en relación con la teoría a partir de la cual se desarrolla el modelo. A su vez, cambiar el Hamiltoniano total por un Hamiltoniano efectivo configura un nuevo sistema: la molécula con núcleos fijos no es un sistema cuántico, sino un sistema semiclásico (Batterman 1995). Y esto implica, tomando prestada la caracterización realizada por Norton, que la ABO es una idealización.

Ahora bien, una vez definido el carácter de la ABO, el siguiente paso es preguntar si ella puede acomodarse en alguna de las diferentes clases de idealizaciones identificados por Weisberg. La respuesta será negativa y las razones son las siguientes.

En primer lugar, en un sentido obvio, la ABO no es una IMM. Recordemos que, según Weisberg, este tipo de idealizaciones implican el uso de diferentes e incompatibles modelos que convergen en la descripción de un mismo fenómeno. Pero el uso de la ABO no apela a diferentes modelos para dar cuenta de un mismo sistema molecular. A diferencia de los modelos de enlace de valencia y orbital molecular, aquí la incompatibilidad no surge entre dos modelos. Por el contrario en un mismo modelo convergen dos teorías incompatibles, la química estructural clásica y la mecánica cuántica.

En segundo lugar, la ABO tampoco puede concebirse como un IM que, en términos de Weisberg, se configura como aquella idealización que recoge el factor causal responsable para la ocurrencia del fenómeno con el fin de contribuir a la comprensión del comportamiento del sistema modelado. Pero para el caso de la descripción de moléculas, la ABO se introduce por razones técnicas más que cognitivas: el problema es que, cuando se

considera el Hamiltoniano total del sistema, la ecuación de Schrödinger no puede resolverse por medios analíticos. Sin embargo, los movimientos de los núcleos son un factor causal relevante para determinar la energía del sistema, ya que los movimientos de los electrones están ligados a los movimientos de los núcleos. Por lo tanto, el movimiento de los núcleos no debe omitirse (y de hecho no se hace) como factor causal en la explicación del comportamiento molecular.

Finalmente, ¿puede la ABO ser considerada como una idealización galileana? Como se señaló anteriormente, según Weisberg, un IG se justifican por motivos pragmáticos y tiene como carácter distintivo que el proceso de idealización puede ser invertido mediante técnicas que contribuyen a la des-idealización. Si bien es cierto que, en la ABO, la justificación para descartar la energía cinética del núcleo también es pragmática, ya que surge por la imposibilidad de resolver analíticamente la ecuación de Schrödinger para sistemas multi-electrónicos, la posibilidad de des-idealizar los modelos basados en la ABO (prácticamente todos los modelos utilizados en química cuántica) no solo es un asunto mucho más sutil sino que, como veremos más adelante para el caso de los isómeros ópticos, resulta sencillamente impropcedente.

Comencemos por recordar que la ABO no es una idealización tan inocente como las que comúnmente se introducen como ejemplos paradigmáticos de IG. Para poder justificar este punto de vista es necesario preguntarse si se puede justificar la aproximación de núcleo fijo de modo tal que lo que parece singular devenga inocuo o trivial. Una primera respuesta ingenua alude a la gran diferencia entre la masa M_α de los núcleos y la masa m_e de los electrones: puesto que M_α es mucho mayor que m_e , puede aplicarse el límite $m_e/M_\alpha \rightarrow 0$. En otras palabras, puede suponerse que la masa de los núcleos tiende a infinito y, como la energía cinética de un cuerpo de masa infinita es cero, los núcleos tendrían energía cinética nula y, en consecuencia, se encontrarían en reposo en posiciones definidas. Desde esta perspectiva, la ABO sería tan inocua como las aproximaciones por límite que se utilizan en mecánica clásica. Pero, ciertamente, esta respuesta es inadecuada: aquí no nos encontramos en un dominio clásico sino cuántico donde, como es bien sabido, las intuiciones clásicas generalmente no funcionan. En efecto, el supuesto de núcleos fijos en el espacio se encuentra reñido con un principio fundamental de la mecánica cuántica. Según el principio de indeterminación de Heisenberg, no es posible adjudicar simultáneamente a una partícula

cuántica una posición definida y un momento (masa por velocidad) definido (para la relación entre el principio de indeterminación y la contextualidad cuántica, ver Hughes 1989). Para utilizar una analogía en el ámbito no cuántico: no se trata de calcular el movimiento de un cuerpo sobre una superficie suponiéndola sin fricción porque el rozamiento es muy bajo, sino de suponer en el ámbito relativista que un cuerpo se mueve a una velocidad superior a la velocidad de la luz. En el primer caso, el supuesto puede eliminarse introduciendo la fricción y obteniendo una descripción más precisa del movimiento del cuerpo. El segundo caso, en cambio, viola uno de los principios básicos de la teoría especial de la relatividad, por el cual ningún cuerpo puede moverse a una velocidad superior a la de la luz. En este sentido, la ABO no es una idealización inocente porque no introduce una aproximación que puede, en principio, eliminarse en un proceso de des-idealización, sino que se basa en supuestos que resultan contradictorios con uno de los principios de la propia teoría sobre la que se aplica, o, al menos, completamente ajenos a dicha teoría.

Pero también existe una respuesta que intenta mantenerse en el ámbito cuántico y, si bien, como veremos, también tiene sus dificultades, es más pertinente que la anterior. El Hamiltoniano total de la molécula H_{tot} puede separarse en una parte cinética $T_N(P_\alpha)$, que representa el movimiento de los núcleos, y la parte electrónica H_e :

$$H_{tot} = T_N(P_\alpha) + H_e(p_i, r_i, R_\alpha)$$

El Hamiltoniano electrónico H_e no es función de los momentos nucleares P_α y, en consecuencia, conmuta con las coordenadas nucleares R_α . Además, cuando se desprecia el movimiento de los núcleos, ambos Hamiltonianos pueden considerarse aproximadamente iguales. Por lo tanto, las coordenadas nucleares R_α también conmutan con H_{tot} . Sobre esta base, la aproximación de núcleo fijo podría justificarse en los siguientes términos: puesto que la molécula se encuentra en un estado estacionario, su estado es un autoestado de H_{tot} y, por lo tanto, tiene un valor definido de su energía total; a su vez, si H_{tot} tiene un valor definido, las coordenadas nucleares R_α , que conmutan con él, también tienen un valor definido, y esto significa que se encuentran en posiciones definidas en el espacio. Si bien aparentemente razonable, esta justificación encierra un supuesto no explicitado: el valor definido de la energía. En efecto, los autoestados del Hamiltoniano H_{tot} definen una base (o

una base de proyectores, si es degenerado) del espacio de Hilbert. Como afirman Lombardi y Castagnino: “Pero hay muchos otros observables que no conmutan con H_{tot} , los cuales definen diferentes bases. ¿Por qué la autobase de H_{tot} , y no de cualquier otro observable que no conmuta con H_{tot} , se elige para expresar $|\Psi\rangle$? Además, el teorema de Kochen y Specker (1967) nos enseña que todos los observables de un sistema cuántico no pueden tener valores definidos simultáneamente; por lo tanto, debe decidirse acerca del subconjunto “privilegiado” de observables con valor definido. ¿Por qué el Hamiltoniano H_{tot} es uno de esos observables privilegiados?” (Lombardi y Castagnino 2010, p. 163. Los autores también discuten el supuesto del vínculo autoestado-autovalor y señalan sus limitaciones).

Por último, es importante resaltar que no solo la justificación no resulta trivial, sino que la ABO no puede ser desestimada como una cuestión marginal en la química, ya que se trata de un recurso que está a la base de lo que se constituye como “el dogma central de la ciencia molecular” (Woolley 1978, p. 1074): la estructura molecular. Es decir, dado que la ABO se encuentra en el corazón mismo de la disciplina, no puede constituirse como una mera idealización de la cual, en principio, podría prescindirse para la descripción de moléculas proporcionada por la química cuántica. Todas las estrategias aproximadas utilizadas para la descripción de la energía de una molécula y para la explicación de los sistemas químicos se basan en el uso de la ABO. En efecto, gracias a la ABO es posible dar cuenta de las asimetrías empíricamente observadas de las moléculas, asimetrías que el Hamiltoniano completo propio de la cuántica no posee ni puede poseer. Esto implica que los supuestos no-cuánticos ingresan ineludiblemente en el núcleo mismo del tratamiento de las moléculas, ya que si se quisiera describir la molécula a partir de primeros principios “no es posible siquiera calcular los parámetros más importantes en química” (Woolley 1978, p. 1074).

En conclusión, si, como se argumenta en esta sección, la ABO es una idealización que no puede acomodarse cómodamente en la clasificación tripartita de Weisberg, entonces parece ser necesaria una nueva mirada a la cuestión de cómo concebir las idealizaciones y cómo clasificarlas. Esta tarea va más allá de los límites del presente capítulo; sin embargo, vale la pena señalar cómo, una vez más, la química desafía las conclusiones extraídas en una filosofía de la ciencia modelada a imagen de la física. El análisis realizado en esta sección apunta hacia la necesidad de enriquecer las clasificaciones de idealizaciones presentadas en

la bibliografía sobre el tema. La ABO muestra que ciertas idealizaciones no pueden concebirse como descripciones distorsionadoras, herramientas efímeras o recursos cognitivos. Una idealización puede ser tan constitutiva de una disciplina científica como su trasfondo teórico. En particular, la ABO es tan constitutiva de la química cuántica que prescindir de ella equivale a prescindir de la química cuántica en su conjunto. Por ello consideramos que cualquier clasificación debe diferenciar entre aquellas idealizaciones que pueden ser des-idealizadas de aquellas que no pueden serlo debido a cuestiones técnicas y conceptuales.

Este análisis, que concibe la ABO como una idealización peculiar que se encuentra en el corazón mismo de la química cuántica y que supone una inconsistencia al interior de un modelo, nos permite retomar las discusiones filosóficas que previamente habían quedado momentáneamente suspendidas. En efecto, habiendo demostrado que los modelos moleculares integran principios incompatibles y habiendo demostrado que la ABO no resulta una idealización inocua que puede ser tratada como lo son las idealizaciones clásicas, podremos demostrar, luego de analizar en la siguiente sección las diferentes estrategias que intentan desprestigiar las inconsistencias teóricas, que la independencia, no meramente temporal, de los modelos en relación con las teorías resulta un hecho fáctico de la ciencia y en algunos casos constitutivo de la utilización de modelos.

5.6 Modelos inconsistentes: soluciones no instrumentalistas

En la bibliografía actual, el tema de la existencia de modelos o incluso teorías en sí mismo inconsistentes ha sido un tópico que ha cobrado una importancia inusitada (cfr. Brown 1990; Norton 2002; Frisch 2004, 2005; Vickers 2013; Krause y Bueno 2017). La inconsistencia al interior de un mismo marco teórico puede resultar aún más perturbador que aquella situación donde las teorías o modelos son, externamente, incompatibles entre sí. Estos últimos casos no generan problemas prácticos, lógicos o doxásticos, ya que los científicos pueden focalizarse en la resolución de los problemas en los diferentes ámbitos de aplicación sin que ello atente contra su propia práctica científica. Considerados aisladamente no se viola ningún principio lógico, ya que cada modelo y cada teoría se contiene a sí mismo de modo consistente. A su vez, y como consecuencia de lo antedicho, en sus prácticas concretas y específicas los científicos pueden confiar plenamente en sus

acciones ya que tienen en sus espaldas una teoría autocontenida que los legitima. Sin embargo, para el caso que se integren principios incompatibles en el marco de una misma disciplina, la situación es diametralmente opuesta. No solo no tienen una teoría –en sentido clásico– que respalda y legitima sus acciones, sino que la inconsciencia genera una explosión lógica que hace que la teoría o el modelo resulte trivial y, por lo tanto, en algún sentido, irrelevante, ya que cualquier enunciado se deduciría de ella. Como ya afirmara Popper: “Una teoría que implica una contradicción es, por lo tanto, completamente inútil como teoría.” (Popper 1940, p. 408). La inutilidad, en parte, se manifiesta en el contexto de la CS, porque ante teorías inconsistentes “si no hay teoría, ¿cómo podemos hablar de sus modelos? ¿De qué son estos últimos modelos?” (Krause y Bueno 2017, p.187). Pero, para la desilusión de los partidarios de CS, estas disciplinas que integran principios incompatibles para la configuración de sus modelos en la práctica existen, perduran y no son inútiles: “Pero en los últimos sesenta años ha habido un número creciente de afirmaciones de que los científicos a veces trabajan con teorías internamente inconsistentes, incluso a sabiendas, y que esa ciencia puede tener un gran éxito” (Vickers 2013, p. v) ¿Entonces? ¿Qué deben hacer los científicos, o mejor dicho, quienes analizan la práctica científica para conferir un marco de legitimidad a estas acciones? ¿Están suficientemente justificadas estas afirmaciones?, es decir, ¿existen realmente teorías o modelos inconsistentes productivos o la inconsistencia es solo aparente? Cuando los científicos integran constructivamente en un mismo modelo principios incompatibles ¿se mueven en el contexto de un marco teórico inconsistente o se mueven sin teoría alguna? En esta sección analizaremos críticamente las posibles opciones que se han esgrimido para dar cuenta de esta dinámica científica. Si las críticas a estas posibles soluciones son efectivas, entonces se abrirá una hendidura para que la concepción autonomista e instrumentista del papel que juegan los principios teóricos en la confección de los modelos cobre legitimidad.

Existen en la bibliografía actual dos estrategias diferentes. La primera de ellas es una estrategia basada en la lógica, que aboga por un abandono de la lógica clásica en favor de alguna de las lógicas paraconsistentes (Smith 1988a, 1988b; Brown 1990, 1992; Priest 2002; da Costa y French 2003; Brown y Priest 2004)⁵⁵. No se abordará esta perspectiva en

⁵⁵ No hay unidad en estas propuestas más que en la certeza de que debe abandonarse la lógica clásica. Mientras que Smith (1988a, 1988b), Brown (1990, 1992) y Priest (2002) abogan en favor

detalle, aunque se debe reconocer que es una salida absolutamente viable ¡siempre que se esté dispuesto a abandonar la lógica clásica! Quizás el único inconveniente de esta postura es determinar si se trata de una reconstrucción racional para conceptualizar la práctica científica desde afuera o si efectivamente puede o pretende constituirse como una descripción de la práctica científica misma. Es decir, los científicos ¿conviven apaciblemente con modelos inconsistentes? Y de hacerlo ¿lo hacen por adoptar lógicas paraconsistentes? Brown y Priest (2004) se sinceran respecto de los alcances de su propuesta y afirman que su trabajo “no es un trabajo histórico. No afirmamos que Leibniz, Newton y los otros matemáticos que trabajan con el cálculo infinitesimal explícitamente presentan su trabajo de esta forma. La estrategia que brindamos es una reconstrucción racional” (Brown y Priest 2004, p. 381). Pero entonces, si esto es así “parece que esta situación no aparece en la historia real de la ciencia, sino que es una reconstrucción filosófica de una ciencia hipotética que no existe” (Vickers 2013, p. 241).

La segunda estrategia para lidiar con modelos inconsistentes se constituye sobre la base de lo que Norton (2002) determina como una estrategia basada en contenidos. Dentro de este esquema argumentativo existen tres posibilidades. La primera estrategia es apelar a la bien conocida tesis reduccionista. En parte, la modalidad que adopta esta vertiente es redefinir la noción de reducción de modo tal que el debilitamiento de las condiciones habilite la posibilidad de una reducción inter-teórica. En general, quienes defienden la reducción de la química molecular a la mecánica cuántica tienden a subestimar la ruptura conceptual entre ambos ámbitos y confían en que las entidades de la química molecular pueden ser caracterizadas exclusivamente en términos cuánticos. Este es el caso del químico cuántico Hinne Hettema, quien en su libro *Reducing Chemistry to Physics* (2012) caracteriza la relación entre química y física desde lo que denomina un concepto nageliano “naturalizado” de reducción, que debilita el esquema reductivo original. Sin embargo, adoptando una visión Lakatosiana, reconoce, no obstante, que la ABO se ubica en el núcleo duro del programa de investigación en química cuántica y es lo que “nos permite poner entre paréntesis temporalmente algunos de las inquietudes de principio que surgen de la

de adoptar una lógica paraconsistente no adjunta que implica algún tipo de división en contextos o subconjuntos, da Costa y French dudan de la efectividad de esa propuesta e introducen como solución una reconstrucción teórica en términos de isomorfismo parcial y una diferenciación entre aceptación y creencia (Costa y French 2003).

aplicación de la teoría cuántica a la química” (2012, p. 190). Incluso más allá del caso de la ABO, Hettema admite que la aplicación de la mecánica cuántica a la química exige la formulación de modelos no basados en principios (“*unprincipled*”), que introducen supuestos incompatibles con ellos mismos (cfr. Hettema 2012). Según el autor, la práctica efectiva de la química cuántica pone de manifiesto que las estrategias propias de la disciplina “pueden sacar los conceptos de contexto y reutilizarlos de un modo no admisible para la teoría en la cual tales conceptos fueron originalmente introducidos” (Hettema 2012, p. 337). Pero si esto es así, ¿por qué hablar de reducción? Como afirma Lombardi, “una vez que el concepto de reducción se ha relajado de tal manera, tenemos derecho a preguntar por qué la relación todavía se llama ‘reducción’ en lugar de ‘vínculo inter-teórico’, y cómo justificar la insistencia de Hettema en conceptualizar este tipo de vínculos sueltos como reduccionista en el sentido nageliano.” (Lombardi 2014, p. 190). Parfraseado uno de las siempre iluminadoras frases que Olimpia establece cuando quiere explicar su punto de vista, si algo no tiene cuatro patas, ni una cola y no ladra, ¿por qué seguimos diciendo que es un perro?

La segunda posibilidad que tiende a minimizar o despreciar las inconsistencias es la que llevan a cabo los partidarios de la nueva concepción semántica (da Costa y French 1990, 1993, 2003; French 2003) al introducir como estrategia explicativa la noción de estructura parcial que ya fue oportunamente descrita en el Capítulo 1 y evaluada críticamente en el Capítulo 2. Retomando sucintamente los elementos fundamentales de esta propuesta en función de los objetivos aquí buscados, una estructura parcial habilita una relación parcial R_i definida como $\langle R_{i1}, R_{i2}, R_{i3} \rangle$, donde R_{i1} , R_{i2} , R_{i3} son conjuntos disyuntos: R_{i1} es el conjunto de pares ordenados que pertenecen a R_i , R_{i2} es el conjunto de pares ordenados que no pertenecen a R_i y R_{i3} es el conjunto de pares ordenados que no sabemos si pertenecen o no R_i . Sobre la base de este esquema formal, los autores pretenden diferenciarse de aquellos que, como Brown, Smith y Norton, suponen que para dar cuenta de las inconsistencias hay que construir subconjuntos o contextos de aplicación. Para los autores esto es impropio, porque tal explicación no brinda un marco para captar la teoría en su integralidad, es decir, que no captura las interconexiones entre las diferentes partes de la estructura teórica general (cfr. da Costa y French 1990, 1993, 2003; French 2003). En contraposición, a decir de los autores, si aquellos elementos que no conforman aun el

conjunto de nuestras creencias se representan mediante relaciones parciales en el contexto de R_{i3} , entonces sería posible formalmente reconstruir el conjunto de la teoría con todos sus elementos: aquellos que creemos porque pertenecen a la teoría, aquellos que no creemos porque no pertenecen a ella y aquellos que no sabemos aún si mantienen la relación. A este cuadro explicativo los autores adicionan la noción de verdad parcial que se produce por el carácter incompleto de la representación y la distinción entre aceptación y verdad; todas las cuales encontrarían su explicación en la mentada formulación lógica de estructuras parciales: “Esto proporcionará la base filosófica de nuestro marco. La contrapartida técnica es proporcionada por un trabajo reciente que introduce la noción de «estructuras parciales» en el enfoque semántico, o teórico de modelos, de las teorías científicas. Es esto lo que nos permite formalizar convenientemente la noción de verdad «parcial» o «pragmática» que es central para nuestra explicación.” (da Costa y French 1993, p. 138). En este contexto, una verdad pragmática se da en el contexto de una creencia representacional (creencia relacionada con el uso) cuando un científico “acepta” la teoría para sus propósitos específicos (da Costa y French 2003).

Pero ¿qué significa todo esto y qué utilidad tiene? Para los autores, mucha: “esta concepción puede acomodar entonces dos escenarios interesantes: la aceptación de teorías que han sido (estrictamente) refutadas y la aceptación de teorías que son (formalmente) inconsistentes” (da Costa y French 1993, p. 144). Pero vayamos despacio. En primer lugar, la noción de representación incompleta que ya fue problematizada no parece ser útil para justificar, en sí misma, este proceso, dado que una cosa es que una representación sea parcial e imperfecta y otra que sea inconsistente e incoherente. En este sentido, para que esta noción resulte útil necesita de otros elementos teóricos que permitan eliminar o despreciar la inconsistencia. Solo después de esto la representación parcial podrá recuperar su función explicativa. En segundo lugar, cuando se explica la noción de verdad pragmática, se apela al uso puramente instrumental, por ejemplo, de la teoría newtoniana, donde la aceptación para los propósitos específicos no supone creencia. Esta situación, por supuesto, no genera perplejidad pero tampoco novedad; y a menos que se pretenda justificar un uso instrumentalista de las teorías que configuran modelos en sí mismas inconsistentes, la multiplicación de distinciones y clasificaciones permanecen vagas, oscuras o irrelevantes. Si lo que se quiere afirmar es que este tipo de teorías generan

aceptación instrumental pero no creencia ¿para qué desplegar tanta “magia” filosófico-formal?

Resulta evidente que los autores tienen mayores expectativas, ya que pretenden dar cuenta de la inconsistencia teórica mediante la noción de verdad parcial sustentada en las mencionadas estructuras parciales. Es así que, por ejemplo, French afirma que “en el momento en que se propuso el modelo (...) la noción de un estado estacionario no se entendía en absoluto, o en el mejor de los casos, solo parcialmente, y si uno fuera a representar el modelo de Bohr en términos de estructuras parciales, los estados estacionarios tendrían que ser ubicados entre los R_{i3} , como relaciones que aún no se tenían como establecidas. (...). Y esto, a su vez, nos da una idea de cómo todavía se puede decir que representa el modelo: lo que representa es un sistema que tiene elementos de la física clásica y cuántica pero tiene en su corazón esta noción pobremente entendida y conceptualmente indistinta.” (French 2003, p.1481). Adicionalmente el autor afirma: “para decirlo sin rodeos, al final el realista solo debería comprometerse con aquellos elementos de las teorías que son responsables de su éxito” (French y Saatsi 2006, p. 555). Pero, qué sucede en aquellos casos, como de hecho lo constituye el modelo introducido en el contexto de la química cuántica, donde no sabemos qué parte de la teoría es la responsable de la inconsistencia y qué parte es la responsable del éxito; es decir, qué sucede no sabemos que parte de la teoría ubicar en R_{i3} . Como afirma Morrison (2007), “dentro de las limitaciones de la visión de la teoría de modelos, la descripción de da Costa/French parece proporcionar una forma útil de expresar la idea de que el conocimiento reflejado en nuestros modelos de fenómenos físicos es incompleto.” (Morrison 2007, p. 207). Pero este análisis no nos permite en absoluto identificar qué características del modelo que establece el Hamiltoniano efectivo deben ser consideradas como parcialmente verdaderas y, por lo tanto, no nos ha dicho nada sobre el modelo que ya no sepamos. Es decir, el problema principal de esta caracterización no radicaría en su falsedad sino en su trivialidad, dado que simplemente se configura como un modo formal de describir lo obvio. Puesto que es evidente que para los autores los responsables del éxito son las estructuras y no los objetos teórico per se, pero dado que la mecánica cuántica y la mecánica clásica –vía la ABO– son imprescindibles y, como veremos, conceptualmente no eliminables, ¿cómo se establece la estructura en este caso? Hasta que la perspectiva no nos informe concreta y en forma

relevante el modo en que ella se aplica a un caso concreto, no podrá evaluarse como una perspectiva eficaz.

Para Vickers, la crítica que se ha formulado recientemente no da en el blanco, porque la propuesta no requiere ni propone un método para decidir qué es lo que se debe poner en R_{i3} . Por el contrario, brinda un marco formal que no adscribe solo una estructura parcial sino una clase de estructuras parciales que contempla todas las posibles formas de representar los respectivos dominios incompatibles para que eventualmente puedan ser ubicados o bien en R_{i1} o bien en R_{i2} . Pero sea como fuere, lo único importante es que las conclusiones finales no difieren: “la posición se mantendrá o caerá, al final, dependiendo de lo que haga por nosotros cuando se aplica en detalle a casos concretos. Pero la implementación concreta y detallada de estructuras parciales aún es difícil de encontrar en la literatura. (...) Todavía no está claro si la forma en que se acomoda a dicha ciencia sea particularmente reveladora o interesante.”(Vickers 2009, p. 21).

La tercera posibilidad que se formula en el contexto de la estrategia basada en el contenido es tratar de solventar el problema identificando el contenido relevante. La modalidad en que esta estrategia puede expresarse es o bien subdividiendo el contenido en subconjuntos excluyentes (haciendo que cada principio se aplique en sus respectivos dominios) o bien limitando las inferencias permitidas abandonando alguna de las suposiciones (cfr. Vickers 2008). En este sentido, por ejemplo, Norton propone que para manejar la inconsistencias no es necesario abandonar la lógica clásica sino reflexionar acerca del “contenido específico de la teoría física en cuestión” (Norton 2002, p. 192). La idea subyacente es que, dado que los científicos no son máquinas deductivas, es posible restringir las inferencias para que en vez de exigir un compromiso con el modelo total, hacerlo sobre un subconjunto de él. En esencia, esta apuesta sugiere que, aunque la contradicción es una posibilidad lógica, para que se materialice se requiere que se generen y exploten deliberadamente las contradicciones usando los elementos del modelo más allá de los alcances pretendidos. A su vez, el autor confía en que en una segunda instancia los modelos inconsistentes, interpretados como provisorios y temporales, puedan ser superados y reemplazados por otros. Sin embargo, aun cuando esta propuesta resulte inteligible, demanda respuestas en relación con una serie de preguntas que no quedan suficientemente esclarecidas. Si la delimitación de contextos fuera razonable y efectiva ¿para qué apelar al

carácter transitorio de la teoría? Por otro lado, pero fundamentalmente, ¿cómo determinamos exactamente el contenido del modelo?, y peor aún, ¿contenido determinado en relación con qué teoría? Podría resultar claro definir cuál es el contenido de los modelos de la mecánica cuántica o de la mecánica clásica; pero dado que parte (gran parte) de los modelos pretendidos de la química cuántica intentan determinar la estructura molecular, y dado que para ello se necesita de la convergencia entre los principios brindados por la mecánica cuántica y la mecánica clásica ¿cómo especificar el contenido de la química cuántica?

Quizás podría pensarse que todo es un equívoco porque en realidad la química cuántica no se preocupa por la estructura molecular sino exclusivamente por los niveles de energía asociados a los electrones de las moléculas. Sin embargo, esta es una visión muy estrecha sobre el objetivo de la química cuántica y su lugar en el contexto general del conocimiento químico. Es cierto que, a través de la ABO, se pueden obtener las soluciones aproximadas de la ecuación de Schrödinger de una molécula dada. También es cierto que, con esas soluciones a mano, los químicos cuánticos comparan esos niveles de energía calculados con los espectros obtenidos en experimentos espectroscópicos. Sin embargo, la suposición que subyace implícitamente en este procedimiento es que la concordancia aproximada entre los cálculos del nivel de energía y las medidas de los espectros dice algo sustancial sobre la estructura de la molécula estudiada. En particular, se supone que tal concordancia confirma la estructura molecular geométrica previamente puesta a mano a través de la ABO en la suposición de núcleos fijos.

En síntesis, el interés final es siempre la descripción de la estructura de la molécula, ya que la estructura molecular es el concepto que permite a los químicos explicar propiedades químicas específicas. La geometría molecular o estructura molecular en química entendida en función de la disposición tridimensional de los átomos que forman una molécula, explica en función de las asimetrías ciertos fenómenos (como el momento dipolar eléctrico o la quiralidad de las moléculas –volveremos a este concepto más adelante–), que no podrían ser explicadas exclusivamente mediante la mecánica cuántica. Además se utiliza para entender las transformaciones químicas como variaciones en la estructura de los reactivos y para determinar muchas de las propiedades de las moléculas: la reactividad, la polaridad, la fase, el magnetismo, la actividad biológica. Es por esto que “[e]l alfa y omega de la

química molecular es la doctrina de que las moléculas existen como objetos individuales y que cada molécula tiene una forma, caracterizada por su marco molecular” (Primas 1994, p. 216).

En este sentido, el hecho que la estructura molecular se constituya como el modelo pretendido pero que esta no pueda determinarse estrictamente por los principios brindados por la mecánica cuántica, ¿es tanto peor para la estructura molecular o tanto peor para la mecánica cuántica? (Hendry 1995). El dilema resulta genuino: renegar de la mecánica cuántica haría de la química una disciplina obsoleta, pero renegar de la estructura molecular haría que la química fuera improductiva.

En este contexto, la estrategia usual es confiar en que la mecánica cuántica puede, o podrá, captar los pormenores de la química estructural. Consecuentemente, el contenido real del modelo estaría determinado por la mecánica cuántica y la explosión lógica no ocurriría porque la aproximación Born-Oppenheimer, junto con la estructura molecular que está irremediabilmente unida a ella, se asumirían como idealizaciones falsas. Sobre esta base, por ejemplo, Woolley afirma que, debido a que es imposible determinar la geometría de una molécula mediante la mecánica cuántica, entonces tanto peor para la estructura molecular: el concepto de estructura molecular no es más que una “poderosa e iluminadora metáfora” (Woolley 1982, p. 4).

La legitimidad de esta propuesta radica en si la ficcionalización de alguno de los supuestos tiene un respaldo teórico o simplemente se introduce de modo ad hoc para eliminar el problema. Lo que intentaremos mostrar es que la estructura molecular no solo, como dijimos, es imprescindible para la química actual sino que no puede ni podrá, por lo menos en el contexto de la mecánica cuántica tal como se la concibe actualmente, recuperar la información necesaria para la tarea química. Si esto es así, entonces, la situación, metafóricamente hablando, sería tanto peor para la mecánica cuántica.

Los detalles de la química cuántica evidencian, a su vez y en contraposición de lo que Vickers pretende demostrar, la inconsistencia en este ámbito es una inconsistencia genuina. El autor analiza una serie de inconsistencias identificadas en la historia de la ciencia y concluye que son insignificantes porque “si nadie pensó nunca que la «velocidad natural es mediática», ¿a quién le importa si las suposiciones que critica Galileo son inconsistentes? Y si nadie nunca creyó al mismo tiempo tanto en la teoría temprana de Bohr

como en la teoría electromagnética clásica de Maxwell-Lorentz, entonces ¿por qué la teoría de Bohr es un ejemplo tan aceptado de una «teoría inconsistente?» (Vickers 2013, p. 247). Para el autor, en ambos casos se sabía dónde radicaba la verdad y, por lo tanto, el apartamiento de ella se establecía por cuestiones pragmáticas. Desde esta perspectiva, aun cuando las des-idealizaciones no son de hecho técnicamente factibles, es razonable suponer que si las mismas fueran posibles, entonces la inconsistencia desaparecería. En este sentido, agrega, “será interesante si encontramos inconsistencias en un conjunto de proposiciones que una comunidad científica importante creía que eran verdaderas (o que se creía que eran candidatas importantes para la verdad) durante un período de tiempo significativo” (Vickers 2013, p. 245).

Precisamente creemos que este es el caso de la química cuántica, pues los químicos confían tanto en la mecánica cuántica como en la química estructural. En primer lugar, los químicos, quizás por estar psicológicamente subyugados por el “imperialismo de la física” (Scerri 2002), pero, sobre todo, por su notable poder predictivo, anhelan algún tipo de reduccionismo o eliminativismo sobre la base de alguna mecánica cuántica modificada, ya que confían que esta disciplina se constituye como la mejor teoría disponible para la explicación de los fenómenos subatómicos. Pero esto no implica que no sean conscientes que esto ni se condice con lo que su propia práctica química demanda, ni que no sean conscientes que la eliminación la estructura molecular es imposible y, como veremos, indeseable. En efecto, no hay químico/a que no reconozca la importancia que el concepto de estructura molecular tiene para el quehacer químico: “la estructura molecular es tan central para las explicaciones químicas que explicar la estructura molecular es casi como explicar la química completa” (Hendry 2010, p. 183). De hecho es tan relevante este concepto que no sería descabellado presumir que la química estructural no solo, evidentemente, precede a la cuántica, sino que, al igual que lo que sucedió con la termodinámica en relación con la mecánica clásica, sobrevivirá a ella si es que en algún momento se la abandona.

Pero, en segundo lugar, el carácter fundamental de la estructura molecular y la confianza que los químicos tienen en ella no se debe simplemente a que permite explicar los procesos químicos de relevancia, sino a que sin ella ciertos fenómenos químicos serían llanamente inexplicables. En contraposición a aquellas estrategias que intentan minimizar la

idealización, advirtiendo que solamente es una simplificación para facilitar el cálculo, o a quienes ficcionalizan la ABO y junto con ello la estructura molecular, aduciendo que el contenido de la teoría no debe contemplar los aspectos clásicos que demanda para su aplicación, habría que advertir que la ABO resulta imprescindible no simplemente por cuestiones pragmáticas sino, y fundamentalmente, por cuestiones conceptuales.

Esta idea puede justificarse de la siguiente manera. Imagínese una situación contrafáctica en la que se contara con las herramientas matemáticas necesarias para obtener las soluciones precisas de la ecuación de Schrödinger independiente del tiempo. En ese caso se podrían calcular los niveles de energía precisos de la molécula sin necesidad de apelar a los ingredientes clásicos introducidos por la ABO. También seríamos capaces de obtener las funciones de onda correspondientes a esos niveles de energía, en particular, la función de onda del estado fundamental de energía mínima. Sin embargo, aún estaríamos lejos de tener la estructura molecular (en estado fundamental) y consecuentemente, toda la información que se obtiene a partir de ella. De hecho, esa función de onda de estado fundamental (obtenida hipotéticamente) es una función compleja de las coordenadas espaciales, cuyo módulo al cuadrado representa una densidad de probabilidad y no las posiciones definidas o casi definidas de los componentes moleculares. Además, la función de onda del estado fundamental no es separable, es decir, no puede expresarse como un producto de las funciones de onda de los componentes (núcleos y electrones de la molécula). Esto significa que la función de onda del estado fundamental, aun si se calculara de manera contrafactual, no sería suficiente para distinguir entre electrones y núcleos de diferentes tipos, ubicados en posiciones casi definidas para establecer la configuración espacial que define la estructura molecular. En otras palabras, incluso si contáramos con las herramientas matemáticas necesarias para eliminar la ABO, con la solución cuántica, el resultado relevante para la química estaría completamente perdido: no habría ninguna pista sobre la estructura molecular, que es esencial para sustentar el conocimiento de la química.

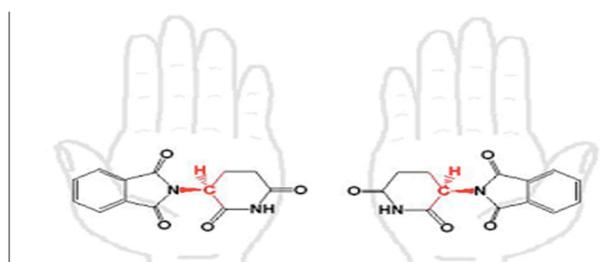
De hecho, los límites de la mecánica cuántica para dar cuenta del conocimiento químico relevante se evidencia también en lo que Woolley y Sutcliffe (1977) formularon como “el problema de la simetría”. Este problema pone sobre la mesa casos donde los modelos moleculares evidencian dificultades que ni dependen de la ABO, ni suponen el clásico problema de la medición (y en este sentido no aplica ninguna de sus posibles soluciones:

cfr Fortin y Lombardi 2021). Es decir, el problema de la simetría demuestra que la mecánica cuántica “pura” resulta inútil para la química, y que, consecuentemente, los anhelos eliminativistas de la ABO resultan improcedentes.

Este problema explicita el hecho de que, si las interacciones entre los componentes de la molécula son coulombianas, las soluciones de la ecuación de Schrödinger poseen simetría esférica, resultado independiente y previo a toda aproximación. Esto significa que, según la mecánica cuántica, una molécula en un autoestado de energía no podría poseer propiedades direccionales. Ahora bien, como es sabido, la asimetría de las moléculas poliatómicas es esencial para la explicación de su comportamiento químico. En efecto, para el caso del ácido clorhídrico, por ejemplo, se sabe que la distribución asimétrica de carga que posee explica su comportamiento ácido y su punto de ebullición. Sin embargo, desde la perspectiva cuántica esto no se puede recuperar porque el valor esperado del momento bipolar de una molécula en un autoestado arbitrario del Hamiltoniano total de la molécula es siempre cero (Hendry 2010).

Otro ejemplo que evidencia más dramáticamente la necesidad de la estructura molecular y la inutilidad de la mecánica cuántica para explicar los fenómenos químicos es el caso de los *isómeros ópticos*. Se denominan isómeros a los compuestos cuyas moléculas tienen el mismo número y tipo de átomos, pero que, teniendo la misma fórmula, difieren en propiedades físicas y/o químicas. Esto se debe a que, en los isómeros ópticos, si bien su fórmula determina la composición de la molécula especificando en qué proporción estequiométrica los elementos que la componen están presentes en el compuesto químico, la disposición geométrica, que es lo que explica los comportamientos físico químicos, está ausente. En efecto, en el caso de los isómeros ópticos o enantiómeros, cada miembro del par es una imagen especular del otro, y solo se los puede distinguir, estructuralmente, como dextrógiros o levógiros por su propiedad de rotar el plano de polarización de la luz polarizada en direcciones opuestas. Esta propiedad que distingue a los miembros de un par de isómeros ópticos se denomina *quiralidad*. Las moléculas quirales tienen una importante función en las reacciones enzimáticas de sistemas biológicos: muchas drogas farmacológicas son quirales, y generalmente solo uno de los miembros del par exhibe actividad biológica. En este sentido, la disposición geométrica resulta imprescindible para la identificación de los respectivos enantiómeros. Pero, dado que los químicos no solo

pueden explicar con éxito el comportamiento de estos enantiómeros sino que han desarrollado técnicas para la preparación de los compuestos, “el problema de la quiralidad no surge a nivel químico, sino con los intentos de explicar el fenómeno en términos cuánticos” (Fortin et al. 2018, p. 125). Un ejemplo de isómeros ópticos es el caso del aspartamo, que posee dos enantiómeros: uno de ellos es un agente edulcorante más de cien veces más dulce que la sacarosa; el otro es insípido o ligeramente amargo. Otro caso dramático de la diferente actividad biológica de los enantiómeros fue el de la talidomida, una droga de forma molecular $C_{13}H_{10}N_2O_4$ lanzada al mercado en 1957 para calmar las náuseas durante el embarazo: mientras uno de los enantiómeros es el talidomina sedativo que tenía el efecto deseado, el otro era un agente teratógeno que causó terribles malformaciones en decenas de miles de casos de neonatos (ver Figura 1).



Talidomina teratógeno/ Talidomina sedativo

(Figura 1)

Ahora bien, puesto que el Hamiltoniano de una molécula solo depende de las distancias entre sus componentes, en ambos enantiómeros el Hamiltoniano es exactamente el mismo. Esto implica que la mecánica cuántica por sí sola no puede dar cuenta del isomerismo y, por lo tanto, no puede dar cuenta de reacciones fundamentales para la química y la industria farmacológica (para más detalles ver Fortin et al. 2018, Fortin y Lombardi 2021). Precisamente por estas razones, y por el hecho de que existe una amplia confianza en la mecánica cuántica, esta situación es considerada por muchos químicos cuánticos como uno de los problemas centrales de la disciplina⁵⁶. En palabras de Woolley (1998), “la existencia

⁵⁶ Es decir, para retomar lo que Vickers consideró como una inconsistencia relevante, aquí se demuestra un caso donde para los químicos tanto la mecánica cuántica como la química estructural son candidatos importantes para la verdad. Pues, ¿en qué sentido esto sería el problema central de la

del isomerismo, y la propia idea de estructura molecular que lo racionaliza, permanece como un problema central para la fisico-química.” (Woolley 1998, p. 3). Y más recientemente: “¡Claramente, entonces, un autoestado de H no corresponde a una molécula clásica con estructura! Esta observación plantea la pregunta: ¿cuáles son las ecuaciones que determinan el estado cuántico de las moléculas? Más allá de la aproximación BO [Born-Oppenheimer], no tenemos idea.” (Sutcliffe y Woolley 2012, p. 416).

En conclusión, todo esto indica que la estructura molecular, entendida como la distribución espacial de los elementos de una molécula, y con ello la ABO (ya que es precisamente aquello que garantiza esa distribución para el caso de los modelos moleculares multielectrónicos), no son aproximaciones o ficciones de la que se pueda prescindir. Para decirlo sin rodeos, el problema de los isómeros ópticos demostró que la mecánica cuántica no es suficiente, ya que al no poder dar cuenta de la estructura molecular no logra recuperar un acervo cultural fundamental para los químicos. Y esto a su vez demostró que la ABO resulta fundamental: junto con la ecuación de Schrödinger determina la estructura; y esta se encuentra en el corazón mismo de la disciplina. No solo todas las estrategias aproximadas utilizadas para la descripción de la energía de una molécula y para la explicación de los sistemas químicos se basan en el uso de la ABO, sino que tienen necesariamente que usarla. En consecuencia, para comprender qué tipo de idealización es la ABO y cuáles pueden ser las consecuencias epistémicas de considerar su peculiaridad, es necesario tener en cuenta el papel que juega en la práctica de la química, en particular, de la química cuántica. Al tomar como criterio lo que los científicos realmente hacen en la práctica y el alcance de las teorías para dar cuenta de los diferentes fenómenos, podemos concluir que no hay razones epistémicas para considerar a la ABO como un artilugio prescindible o ficcional. Dado su papel fundamental para la descripción teórica de los isómeros ópticos (Martínez González 2019) y el acierto teórico que conlleva, ¿por qué sospechar que los elementos que intervienen en la BOA son los que deben quedar relegados al campo de lo ficcional o lo desconocido?

química si no hubiera una confianza en que tanto la química estructural como la mecánica cuántica se constituyen como candidatos importantes para la verdad?

5.7 Inconsistencia, independencia e instrumentalismo

En este capítulo hemos intentado introducirnos en una clásica discusión en torno al binomio modelo-teoría con la expectativa de poder brindar un nuevo caso que pudiera refrescar y superar las conclusiones parciales obtenidas hasta el momento en la bibliografía vigente. Entre los defensores de la concepción semántica, que pretenden encauzar los casos de investigación para que cobren sentido en un contexto teórico-dominante, y los partidarios de la denominada concepción *toolbox* de las teorías, que intentan resaltar la independencia y la autonomía de los modelos abogando por una perspectiva instrumentalista de los principios teóricos, introducimos el caso de los modelos moleculares como prueba de una autonomía aún más radical que la que presentan Morgan y Morrison (Morgan y Morrison 1999; Morrison 1999). Para estas autoras, aunque los modelos son autónomos porque no respetan estrictamente los lineamientos teóricos de los principios generales de las teorías científicas, las teorías científicas continúan siendo representativas (cfr. Morrison 2007). En efecto, en relación con el modelo de los hermanos London, aseveran que la independencia puede resultar temporal y contingente ya que la teoría BCS sobre los superconductores vino a reemplazar y solucionar los pormenores técnicos que el caso presentaba.

Frente a esto, en este trabajo se propone una autonomía radical como consecuencia de una independencia conceptual que atenta contra la estrategia que pretende preservar el contenido representacional de los modelos en las teorías científicas. En efecto, el marco teórico que está detrás, presumiblemente legitimando los modelos moleculares, es la química cuántica. Pero este marco teórico que se utiliza para la construcción de los modelos moleculares contiene conjuntamente dos dominios teóricos: el clásico y el cuántico. El dominio cuántico aporta la ecuación de Schrödinger para la determinación de los niveles de energías. El dominio clásico, a través de la química estructural, aporta la geometría de la molécula, dada por las posiciones fijas de los núcleos en el espacio. Ambos dominios teóricos conceptualmente incompatibles contribuyen esencialmente a la construcción de los modelos moleculares. Dado que hemos intentado desestimar aquellas estrategias que pretenden menospreciar la inconsistencia o bien apelando a una estrategia basada en la lógica paraconsistente o bien intentando especificar el contenido de la teoría en un contexto limitado y consistente, creemos que el caso de los modelos utilizados en química cuántica

brinda una nueva perspectiva para abordar el problema de la relación entre teorías y modelos.

A diferencia del modelo de London y London del efecto Meissner así como de otros ejemplos tratados en la bibliografía –como el modelo de fluidos viscosos formulado en 1904 por Ludwig Prandtl, estudiado por Morrison (1999)–, los modelos moleculares no son modelos fenomenológicos que surgen directamente de los insumos que suministra la actividad experimental en un cierto entorno teórico, sino que se trata de constructos altamente teóricos, cuyas consecuencias empíricas se contrastan indirectamente. Pero lo más relevante respecto de la discusión que aquí abordamos es que los modelos no se construyen sobre la base de aproximaciones que pueden ir eliminándose paulatinamente para alcanzar una descripción más precisa, sino que uno de los supuestos que incorporan resulta incompatible con los principios de la teoría fundamental sobre la que supuestamente se basan. En el caso de la superconductividad, la relativa independencia del modelo respecto de la teoría vigente admite ser interpretada, como lo hacen los defensores de la CS, como provisoria y “remediable” con el ulterior desarrollo de la ciencia. En el caso de los modelos moleculares, la utilización de principios incompatibles no es un recurso contingente a ser superado, sino que se encuentra en el núcleo mismo de la química cuántica como disciplina científica. Como afirma Chang: “Podría decirse que la mecánica cuántica de Schrödinger, ya desde su primer uso para un sistema de la vida real, nació con el supuesto del núcleo fijo. Debe enfatizarse nuevamente que esto no es algo que surge por la necesidad de aproximación, sino algo entretelado en la propia trama de la teoría cuántica elemental. El marco teórico de la mecánica ondulatoria de Schrödinger no brinda margen alguno para teorizar acerca del estado del núcleo” (Chang 2015, p. 199). En este sentido, adscribir carácter provisoria y superable a la química cuántica no es más que adscribir carácter provisoria a la mecánica cuántica misma, una tesis que puede resultar razonable en el marco de la filosofía de la ciencia, pero que es lógicamente previa a la discusión sobre la relación entre teorías y modelos, y que no se relaciona con ella.

A su vez, esta característica puede utilizarse para argumentar no solo que las teorías no “contienen” en sí mismas el conjunto de todos sus modelos, sino y fundamentalmente que los modelos se construyen de un modo independiente de las teorías: un modelo no lo es de una teoría particular respecto de la cual funciona como hacedor de verdad y/o elemento

confirmatorio. Los modelos moleculares adquieren un estatus autónomo puesto que, siendo esenciales a la química cuántica en su conjunto, integran elementos teóricos incompatibles de diferentes dominios. En este sentido, la independencia de los modelos no es provisoria y contingente, sino que adquiere un carácter conceptual en tanto constitutiva del propio proceso de modelización. Sobre esta base, el caso de los modelos moleculares parece abonar el terreno para una concepción instrumentalista de los principios teóricos involucrados en los modelos, a la manera del enfoque *toolbox*, según el cual las teorías deben considerarse como herramientas útiles para la construcción de modelos. En el contexto de la química cuántica los principios utilizados de la mecánica clásica y de la mecánica cuántica, siendo consustanciales e imprescindibles, se constituyen como reglas o herramientas para la conformación de los modelos.

Para que la consecución de este objetivo tuviera éxito, en primer lugar, explicamos por qué la concepción semántica se enmarcaba dentro del cuadro teórico-dominante. En segundo lugar, explicitamos los alcances de la discusión en torno al modelo de los hermanos London concluyendo que la misma se encuentra en una suerte de impasse como consecuencia de que ambas partes asumen una independencia relativa y parcial del modelo respecto de la teoría. La discrepancia dijimos, deviene del hecho de que no hay acuerdo respecto de las consecuencias epistémicas. Pero como el caso de los superconductores no logra dirimir la cuestión, la discusión se estancó y quedó relegada ante la ausencia de nuevos argumentos. Precisamente el caso de los modelos moleculares vino a renovar el debate proponiendo nuevos argumentos al correr el eje de la discusión en torno de los modelos fenomenológicos al análisis de modelos altamente teóricos que contenían principios incompatibles. Pero para que el objetivo pudiera ser cumplido nos vimos en la obligación de hacer un rodeo argumentativo. Es así que tuvimos que explicar las peculiaridades de la ABO, identificando en qué sentido esta idealización no puede ser analizada y desestimada en el contexto de las idealizaciones clásicas. Luego tuvimos que evaluar críticamente las propuestas que se han dado para contrarrestar el quiebre conceptual que implica la existencia de modelos efectivos pero inconsistentes. Todo lo cual, creemos, permitió concluir que la existencia de modelos que integran constructivamente y de un modo empíricamente exitoso teorías incompatibles puede utilizarse como argumento para poner en crisis la interpretación realista y representacionista de los principios teóricos

involucrados en la práctica del modelado, en favor de una visión que los interprete como reglas o instrumentos para la construcción de modelos. En efecto, siendo que un modelo molecular involucra de forma consustancial teorías incompatibles, cabe preguntarse respecto de cuál de ellas el modelo en cuestión se constituye como hacedor de verdad. En otras palabras, hasta qué punto es posible continuar sosteniendo que el principal papel que cumplen los modelos en ciencia es el ser elementos de prueba confirmatorios de la teoría. Por otro lado, si la ciencia fuera un empresa dedicada a brindar una comprensión inteligible de los fenómenos, ¿por qué la comunidad científica no adopta la interpretación bohmiana de la mecánica cuántica? Si el objetivo fuera la comprensión ¿qué resulta más oneroso, la introducción de una nueva fuerza o la convivencia con teorías inconsistentes integradas constructivamente en los modelos?

Para terminar, podría argüirse que, a pesar de lo recién señalado, las teorías continúan constituyéndose como principios directrices en el quehacer científico. Si bien esto es cierto, no constituye un contra-argumento en favor de la concepción teórico-dependiente de los modelos. En efecto, el caso de los modelos moleculares no pretende mostrar que las teorías no cumplen función alguna en la construcción de los modelos. Por el contrario, en este caso las teorías juegan un papel protagónico en la medida en que no se trata de modelos fenomenológicos sino altamente teóricos. Pero el hecho de que las teorías sean necesarias no implica una relación de dependencia entre estas y los modelos. Los modelos moleculares, si bien contienen elementos o principios prescritos por las teorías, se constituyen autónomamente ya que toman de ellas solo aquello que necesitan para dar cuenta de los comportamientos físico-químicos de las moléculas; sin importar si tales elementos generan o no contradicciones en el ámbito teórico. Creemos que la eficacia de la estrategia aquí propuesta resulta evidenciada en las palabras que fueron formuladas por Suppe en *Understanding Scientific Theories: An Assessment of Developments, 1969–1998* (2000) cuando, en respuesta a las críticas instituidas por Morrison, advierte que la concepción semántica no supone necesariamente que todo modelo es de una teoría sino que toda teoría se presenta mediante sus modelos. La aclaración resulta justa y gratificante, pues evidencia sus propios límites. Suppe, aceptando que los modelos pueden generarse sin marco teórico, pregunta, desafiante, “¿y qué?” (Suppe 2000, p.113) Pues, bueno, que en ese caso, parafraseando las razones que en su momento ellos consideraron oportunas para

rechazar la concepción sintáctica, se podría afirmar, como se dijo en la Introducción de esta tesis, que la concepción semántica posiblemente no esté mal, “sino que resulta demasiado simple” (Suppes 1967, p. 57) para entender la práctica científica.

Conclusiones finales

Esta tesis se ha inscripto en el marco de las propuestas de las filosofías especiales de la ciencias que en las últimas décadas se han revitalizado en detrimento de una filosofía de la ciencia que, diciéndose general, de hecho simplemente ha instituido a la física como paradigma primario para pensar la cuestión epistemológica. Estas nuevas filosofías especiales de las ciencias configuran un interjuego más plural y por lo tanto más honesto entre filosofía y ciencia. En este contexto, esperamos haber mostrado que las particularidades de la química permiten refrescar y mejorar clásicas discusiones en torno al proceso de modelado en relación con dos ejes temáticos estructurales: el eje modelo-sistema y el eje modelo-teoría. En relación con el primer eje, el *mainstream* se configuró en torno a la noción de representación, mientras que en lo que respecta al segundo eje temático, la discusión ha girado en torno a una categoría subsidiaria pero determinante para cualquier proyecto representacionista, la noción de dependencia.

La apuesta crítica en relación con el primer binomio fue intentar doblegar el imaginario filosófico imperante que asocia modelos con representación, apelando a los modelos incompatibles como medio para evidenciar que no siempre la capacidad cognoscitiva de los modelos descansa en su potencialidad representativa. Si conocer es adquirir cierta información sobre el sistema, y si los modelos incompatibles generan enunciados contradictorios que hacen que la información no pueda ser interpretada, entonces el proyecto representacionista resulta insuficiente. Aunque esta conclusión resulta fácil enunciarla, demostrarla no fue ni tan sencillo ni tan inmediato.

En primer lugar, en el Capítulo 1 identificamos los orígenes de esta tradición. En este sentido, mostramos que la característica peculiarmente distintiva de la concepción semántica es establecer los modelos como herramientas representativas. Esto permitió ubicar a la concepción semántica en el centro del debate como aquella concepción que inauguró esta escurridiza tradición. El carácter escurridizo, opaco e impreciso de esta tradición fue establecido en el Capítulo 2 cuando se realizó un análisis crítico de los inconvenientes que suscitaron las diferentes nociones sobre la representación que fueron desplegándose en las últimas décadas. Esto representó una ventaja y un problema para los fines propuestos en la presente investigación. En primer lugar, pasar revista a las

tradiciones naturalistas, pragmáticas e inferencialistas de la representación, evidenciando la multiplicidad de formas y sentidos en que esta noción fue entendida, permitió concluir que los resultados devinieron contrarios a los intereses de la concepción semántica. En efecto, así como otrora la noción se interpretó fue descartada como una noción confusa y poco clara, el juicio terminó resultando contraproducente porque idéntica sentencia aplica para la noción de representación. Pero este paso argumentativo supuso también un inconveniente: si la presente tesis pretende brindar argumentos anti-representacionistas, y si la noción de representación es amplia, abierta y confusa ¿qué se entiende por representación cuando se afirma que los modelos incompatibles atentan contra este proyecto?, ¿qué noción de representación se intenta desarticular?

Esta justa apreciación obligó a que la tesis tuviera que adoptar estrategias divergentes y posiciones definidas. En primer lugar, para doblegar las concepciones inferencialistas como posibles soluciones del problema de los modelos incompatibles, tuvimos que desacreditar una opinión fuertemente arraigada que disociaba representación de representación adecuada. Si la representación no supone adecuación y se define simplemente por su capacidad para generar razonamientos subrogantes válidos, entonces la concepción interpretativa de Contessa podría, trivialmente, incluir los modelos incompatibles como modelos representativos. Al fin y al cabo, desde esta concepción lo único que se exige es que se establezca una interpretación que habilite inferir conclusiones, fieles o infieles, sobre el sistema. Contra esta estrategia, argumentamos que es inconducente porque resulta innecesaria, no está suficientemente justificada y contiene una serie de desventajas epistémicas. En relación con lo último dijimos que la concepción interpretativa de Contessa no solo hace colapsar la noción de representación con la mera estipulación, sino que tampoco logra diferenciar la noción de modelo de la noción de representación. Asimismo, y fundamentalmente, trivializa tanto la noción de representación como lo que se entiende por conocimiento científico. Cuando se disocia representación de representación adecuada y se asume que una representación absolutamente infiel es, de todos modos, una representación, entonces se la instituye como fuente del conocimiento y del desconocimiento.

Por otro lado, considerando que quizás esto pueda no ser unánimemente aceptado, hemos también desacreditado las razones y argumentos brindados por Contessa para no fundar la representación en los razonamientos subrogantes sólidos. Se argumentó, principalmente,

que con sus argumentos Contessa o bien comete petición de principio o bien confunde diferentes aspectos de las *misrepresentaciones*, ya que si bien toda representación es una *misrepresentación*, no toda *misrepresentación* es una representación.

No obstante, el haber justificado la representación en términos de los razonamientos subrogantes sólidos no fue suficiente, ya que los modelos incompatibles también generan, en términos predictivos, este tipo de razonamientos. En este sentido, en el Capítulo 4, luego de establecer que la concepción inferencialista de Suárez resultaba trivial, inestable o no explicativa por, entre otras cosas, no advertir que si bien toda representación supone capacidad inferencial su inversa no se cumple, incluimos la noción de razonamiento subrogante comprensivo como el carácter distintivo del acto representativo. Estos dos argumentos, desplegados en el Capítulo 2 y en parte del Capítulo 4, nos permitieron explicar cómo debe entenderse la noción de representación y por qué las concepciones inferencialistas en cualquiera de sus versiones no pueden dar cuenta de los modelos incompatibles. Por supuesto esto no fue consecuencia de estipular una arbitraria noción de representación que dejara fuera, trivialmente, las concepciones inferencialistas. Por el contrario, la nueva concepción sobre la representación que aquí se ha defendido devino como consecuencia de las deficiencias explicativas y epistémicas de sendas concepciones inferencialistas.

Pero la tarea no estaba finalizada. Pues en forma independiente a las concepciones recientemente planteadas se erigen el perspectivismo y el pluralismo en sus múltiples versiones, como posibles estructuras explicativas que podrían dar cuenta de los modelos incompatibles dentro de un marco representacionalista. Para afrontar estos desafíos los recursos argumentativos fueron diferentes. En relación con el pluralismo, establecimos lo siguiente: el pluralismo metafísico es una postura arriesgada y rudimentaria; el pluralismo epistémico no difiere sustancialmente del instrumentalismo; y el pluralismo de tinte ontológico no solo presenta algunas deficiencias conceptuales sino que tampoco resulta adecuado para tratar específicamente los modelos incompatibles sobre la electronegatividad y sobre los enlaces químicos. En relación con el perspectivismo, tratamos de desarticular su estrategia habitual aduciendo que la parcialidad del acto de modelado no es un recurso suficiente para explicar los modelos incompatibles. Sobre esta base, aseveramos que realmente existen modelos genuinamente incompatibles, ya que la incompatibilidad que

presentan los casos sobre la electronegatividad y sobre los enlaces químicos no puede explicarse ni diluirse apelando a los aspectos o elementos constitutivos del acto de modelización.

Por último, escarbando los últimos resquicios donde el representacionalismo podría anidar, evaluamos la posibilidad de salvaguardar el carácter representacional de los modelos en los marcos teóricos de referencia. Este cambio de eje temático, que focaliza la potencialidad representativa en la relación modelo-teoría, implicó también un desplazamiento hacia la noción de dependencia (o, desde su contraria, la noción de independencia) de los modelos respecto de las teorías. En relación con este tema hemos intentado abogar en favor de la concepción *toolbox*, según la cual las teorías se configuran como instrumentos útiles para la construcción de modelos. La estrategia para ello fue demostrar que existe una autonomía conceptual de los modelos, apelando a un modelo molecular que integra constructivamente principios teóricos incompatibles. Si la argumentación fue exitosa, entonces logramos poner en evidencia que la independencia no es meramente temporaria sino que, al estar fuertemente arraigada en las bases fundamentales de la química cuántica, resulta una autonomía aún más radical que la que fuera sostenida por Morrison y Morgan cuando defendieron su concepción de los modelos como mediadores autónomos.

Ahora bien ¿cuál es el alcance de esta argumentación? La respuesta parece inequívoca: desarticular la concepción representacionista de los modelos científicos. Pero, ¿cuál es el alcance de esta desarticulación? Es decir, ¿desechar el representacionalismo nos conduce necesariamente al instrumentalismo? Tradicionalmente el instrumentalismo ha sido concebido como el adversario natural del realismo. En este sentido, ¿por qué se abraza un instrumentalismo si lo que se cuestionó en la tesis no fue el realismo sino el representacionalismo? Hemos estipulado en la tesis que el instrumentalismo aquí defendido no se erige contra el realismo, sino en el mejor de los casos contra aquel realismo clásico configurado desde el representacionalismo. Pero además hemos argumentado que esto no es así, es decir, que el target de esta tesis no puede ser el realismo, porque existen posturas representacionistas antirrealistas. En síntesis, como existen posturas realistas no representacionistas y como existen posturas antirrealistas representacionistas, la crítica a la representación ni asume ni niega necesariamente el realismo o el antirrealismo. Pero si

atendemos que las posturas realistas no representacionistas suelen denominarse a sí mismas como instrumentalistas (cfr Dewey 2000) y que las posturas antirrealistas representacionistas suelen intentar diferenciarse del instrumentalismo (van Fraassen 1980), entonces entenderemos por qué la antítesis ha sido establecida entre el representacionismo y el instrumentalismo. Si esto resulta legítimo, entonces refutar el representacionismo nos comprometería con el instrumentalismo.

Pero, aun cuando esta dicotomía resultara adecuada, resta formular una serie de preguntas: ¿qué tipo de instrumentalismo? O instrumentalismo ¿hasta dónde? El instrumentalismo que se ha defendido es un instrumentalismo metodológicamente fundado en las inferencias que pueden establecerse en función de los alcances de las prácticas científicas actuales. Es un instrumentalismo que continúa la línea de Sober en tanto que no niega la verdad ni como hecho ni como objetivo posible, sino que preconiza la predicción como el elemento primario que explica la práctica científica. Es un instrumentalismo que se funda argumentativamente y específicamente sobre el hecho de la existencia de modelos inconsistentes e incompatibles. Y es un instrumentalismo que permite dar cuenta de la práctica química porque los modelos sobre los cuales se fundamenta se constituyen como estructurales de esta disciplina.

No obstante, el instrumentalismo aquí justificado tiene un alcance limitado, específico y local. Es un instrumentalismo en química sustentado desde y para los modelos incompatibles e inconsistentes. Pero, por si acaso importa, mis aspiraciones son mayores: mi corazón es antirrealista y mis pretensiones en relación con el instrumentalismo son globales. Ahora bien, si las opiniones preceden a la argumentación y se constituyen como fuentes que canalizan el desarrollo de los mejores argumentos posibles, soy consistente que esta convicción, por el momento, deviene de una posición política que aún no ha encontrado un respaldo epistémico suficiente. Es decir, como se dijo en el prólogo, el alcance del instrumentalismo que se defiende en esta tesis es limitado y local porque aún no he encontrado buenos argumentos para que estas convicciones personales encuentren un marco de racionalidad no arbitraria ni subjetiva que me permita introducirme en el juego de una intersubjetividad fructífera. Por lo demás, en relación con los objetivos que sí se han buscado, espero haber encontrado argumentos racionales que permitan tanto afianzar y

delimitar los alcances, las fortalezas y los límites de mis convicciones, como abrir el juego para un dialogo donde el instrumentalismo vuelva al centro de la escena.

Referencias

- Achinstein, A. (1965). "Theoretical models", *The British Journal for the Philosophy of Science*, **16** (62): 102–120.
- Achinstein P. (1968). *Concepts of Science: a Philosophical Analysis*. Baltimore: John Hopkins Press.
- Adúriz-Bravo, A. (2013). "A «semantic» view of scientific models for science education", *Science & Education*, **22**: 1593–1611.
- Allen, L. C. y Knight, E. T. (1992). "Electronegativity: why has it been so difficult to define?", *Journal of Molecular Structure (Theochem)*, **261**:313–330.
- Allred, A. L. y Rochow, E. G. (1958). "A scale of electronegativity based on electrostatic force", *Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry*, **5** (4): 264–268.
- Andréka, H., Madarász, J. y Németu, I. (2005). "Mutual definability does not imply definitional equivalence, a simple example", *Mathematical Logic Quarterly*, **51** (6): 591–597.
- Appiah, A. (1986). *For truth in semantics*. Oxford: Basil Blackwell.
- Appiah, A (1991). "Representation and realism", *Philosophical Studies*, **61**: 65–74.
- Ayer, A.J. (1959). *El Positivismo Lógico*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Bailer-Jones, D. M. (2003). "When scientific models represent", *International Studies in the Philosophy of Science*, **17** (1): 59–74.
- Bailer-Jones, D. M. (2009). *Scientific Models in Philosophy of Science*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.
- Balzer, W., Moulimes, C. U., y Sneed, J. (1987). *An Archttectonic for Structuralist Program*. Dordrecht: Reidel.
- Barberousse, A. & Ludwig, P. (2009). "Models as fictions", pp. 110–138, en M. Suárez (ed.), *Fictions in Science: Philosophical Essays on Modeling and Idealization*. New York-London: Routledge.
- Barrett, T. y Halvorson, H (2016). "Quine and Glymour on theoretical equivalence", *Journal of Philosophical Logic*, **45**: 467–483.
- Batterman, R. (1995). "Theories between theories: asymptotic limiting intertheoretic relations", *Synthese*, **103**: 171–201.

- Batterman, R. W. (2009). "Idealization and modeling", *Synthese*, **169**: 427–446.
- Betz, G. (2009). "Underdetermination, model-ensembles and surprises: On the epistemology of scenario analysis in climatology", *Journal for General Philosophy of Science*, **40**: 3–21.
- Bhaduri, R. (1988). *Models of the Nucleon. From Quarks to Soliton*. Redwood City: Addison–Wesley Publishing Company.
- Black, M. (1962). *Models and Metaphors*. Cornell University Press.
- Boesch, B. (2019a). "Scientific representation and dissimilarity", *Synthese*, **198** (6): 5495–5513.
- Boesch, B. (2019b). "Resolving and understanding differences between agent-based accounts of scientific representation", *Journal for General Philosophy of Science*, **50** (2): 195–213.
- Bokulich, A. (2011). "How scientific models can explain", *Synthese*, **180**: 33–45.
- Bokulich, A. (2020). "Towards a taxonomy of the model-ladenness of data", *Philosophy of Science*, **87**: 793–806.
- Bokulich, A. y Parker, W. (2021). "Data models, representation, and adequacy-for-purpose", *European Journal for Philosophy of Science*, en prensa.
- Bolinska, A. (2013). "Epistemic representation, informativeness and the aim of faithful representation", *Synthese*, **190**: 219–234.
- Boon, M. y Knuuttila, T. (2008). "Models as epistemic tools in engineering sciences: a pragmatic approach", pp. 693–726, en A. Meijers (ed.), *Philosophy of Technology and Engineering Sciences (Handbook of the Philosophy of Science)*, vol. 9. Amsterdam: Elsevier.
- Borge, B. y Lucero, S. (2018). "Ventajas y tensiones en la perspectiva del Estructuralismo Empirista", *Revista de Filosofía*, **43** (2): 315–338.
- Born, M. y Oppenheimer, J. (1927). "Zur Quantentheorie der Molekeln", *Annalen der Physik*, **84**: 457–484.
- Brading, K. (2011). "Structuralist approaches to physics: Objects, models and modality", pp. 43–65, en A. Bokulich y P. Bokulich (eds.), *Scientific Structuralism*. Nueva York: Springer.

- Braithwaite, R. B. (1962). "Models in the empirical sciences", pp. 224–231, en E. Nagel, P. Suppes, and A. Tarski (eds.), *Logic, Methodology and the Philosophy of Science*. Proceedings of the 1960 International Congress. Stanford: Stanford University Press.
- Brown, B. (1990). "How to be realistic about inconsistency in science", *Studies in History and Philosophy of Science*, **21**:281–294.
- Brown, B. (1992). "Old quantum theory: A paraconsistent approach", *PSA*, **2**:397–411.
- Brown, B. y Priest, G. (2004). "Chunk and permeate, a paraconsistent inference strategy. Part I: The infinitesimal calculus", *Journal of Philosophical Logic*, **33** (4): 379–388.
- Brown, M. J. (2009). "Models and perspectives on stage: remarks on Giere's Scientific perspectivism", *Studies in History and Philosophy of Science*, **40**: 213–220.
- Brush, S. G. (1999a). "Dynamics of theory change in chemistry: Part 1. The benzene problem", *Studies in History and Philosophy of Science*, **30**: 21–81.
- Brush, S. G. (1999b). "Dynamics of theory change in chemistry: Part 2. Benzene and molecular orbitals", *Studies in History and Philosophy of Science*, **30**: 263–282.
- Budd, M. (1993). "How pictures look", pp. 154–175, en D. Knowles and J. Skorupski (eds.), *Virtue and Taste*. Oxford: Blackwell.
- Bueno, O. (1997). "Empirical adequacy: A partial structures account", *Studies in History and Philosophy of Science*, **28**: 585–610.
- Bueno, O. y French, S. (2011). "How theories represent", *The British Journal for the Philosophy of Science*, **62**: 857–894.
- Bueno, O., French, S. y Ladyman, J. (2002). "On representing the relationship between the mathematical and the empirical", *Philosophy of Science*, **69**: 497–518.
- Bueno, O., French, S. y Ladyman, J. (2012). "Models and structures: Phenomenological and partial", *Studies in History and Philosophy of Modern Science*, **43**: 43–46.
- Callender, C. y Cohen, J. (2006). "There is no special problem about scientific representation", *Theoria*, **55**: 67–85.
- Cao, T. Y. (2003). "Can we dissolve physical entities into mathematical structures?", *Synthese*, **136** (1): 57–71.
- Carnap, R. (1936). "Testability and meaning I", *Philosophy of Science*, **3**: 416–471.
- Carnap, R. (1937a). "Testability and meaning II", *Philosophy of Science*, **1**: 1–40.

- Carnap, R. (1937b). *The Logical Syntax of Language*. London: Kegan Paul, Trench, & Trübner.
- Carnap, R. (1939). *Foundations of Logic and Mathematics. International. Encyclopedia of Unified Science*. Chicago: Chicago University Press.
- Carnap, R. (1950). "Empiricism, semantics, and ontology", *Revue Internationale de Philosophie*, 4: 20–40.
- Carnap, R. (1956). "The methodological character of theoretical terms", pp. 38–76, en H. Feigl y M. Scriven (eds.), *Minnesota Studies in the Philosophy of Science I*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Carnap, E. (1966). *Philosophical Foundation of Physics*. New York: Basic Books.
- Carnap, R. (1967). *The Logical Structure of the World*. Berkeley, CA: University of California Press.
- Carrier, M. (2004). "Knowledge gain and practical use: models in pure and applied research", pp. 1–17, en D. Gillies (ed.), *Laws and Models in Science*. London: King's College Publications.
- Cartwright, N. (1980). "Do the laws of physics state the facts?", *Pacific Philosophical Quarterly*, 61: 75–84.
- Cartwright, N. (1983). *How the Laws of Physics Lie*. Oxford: Clarendon Press.
- Cartwright, N. (1994a). "The metaphysics of the disunified world", pp. 357–364, en *PSA, Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, Vol.2, Symposia and invited papers. Chicago: The University of Chicago Press.
- Cartwright, N. (1994b). "Fundamentalism vs. the patchwork of laws", *Proceedings of the Aristotelean Society, XCIV*, 94 (1): 279–292.
- Cartwright, N. (1999). *The Dappled World. A Study of the Boundaries of Science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Cartwright, N. (2010). "Models: Parables vs fables", pp 19–31, en Frigg, R., Hunter, M. (eds), *Beyond Mimesis and Convention. Boston Studies in the Philosophy of Science*, vol 262. Dordrecht: Springer.
- Cartwright, N., Shomar, T. y Suárez, M. (1995). "The tool-box of science", pp. 137–149, en W. Herfel, W. Krajewski, I. Niiniluoto y R. Wojcicki (eds.), *Theories and Models in Scientific Processes*. Amsterdam: Rodopi.

- Cassini, A. (2018). “Models without a target”, *Artefactos. Revista de Estudios de la Ciencia y la Tecnología*, **7**: 185–209.
- Chakravartty, A. (1998). “Semirealism”, *Studies in History and Philosophy of Science*, **29**: 391–408.
- Chakravartty, A. (2001). “The semantic or model-theoretic view of theories and scientific realism”, *Synthese*, **127**: 325–345.
- Chakravartty, A. (2010a). “Informational versus functional theories of scientific representation”, *Synthese*, **172**: 197–213.
- Chakravartty, A. (2010b). “Perspectivism, inconsistent models, and contrastive explanation”, *Studies in History and Philosophy of Science*, **41**: 405–12.
- Chakravartty, A. (2017). *Scientific Ontology*. Oxford: University press.
- Chang, H (2012). *Is Water H₂O?* New York: Springer.
- Chang, H. (2015). “Reductionism and the relation between chemistry and physics”, pp. 193–209, en T. Arabatzis, J. Renn y A. Simoes (eds), *Relocating the History of Science: Essays in Honor of Kostas Gavroglu*. New York: Springer.
- Chang, H. (2018). “Is pluralism compatible with scientific realism?”, pp. 176–186 en J. Saatsi (ed), *The Routledge Handbook of Scientific Realism*. New York: Routledge.
- Chang, H. (2022). *Realism for Realistic People*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Chin, C. (2011). “Models as interpreters”, *Studies in History and Philosophy of Science*, **42**: 303–312.
- Chuang, L. (1997). “Models and theories I: The semantic view revisited”, *International Studies in the Philosophy of Science*, **11**: 147–164.
- Chuang, L. (1998). “Models and theories II: Issues and applications”, *International Studies in the Philosophy of Science*, **12**: 111–128.
- Chuang, L. (1999). “Approximation, idealization, and laws of nature”, *Synthese*, **118**: 229–256.
- Chuang, L. (2004). “Approximations, idealizations, and models in statistical mechanics”, *Erkenntnis*, **60**: 235–263.
- Chuang, L. (2014). “Models, fictions and fictional models”, pp. 107–127, en G. Guichun y L. Chunag (eds.), *Scientific Explanation and Methodology of Science*. Singapur: World Scientific Publishing.

- Colin, K. (2013). "Multiple realizability and the semantic view of theories", *Philosophical Studies*, **163**: 683–695.
- Contessa, G. (2006). "Scientific models, partial structures and the new received view of theories", *Studies in History and Philosophy of Science*, **37**: 370–377.
- Contessa, G. (2007a). *The Ontology of Scientific Models and Their Representational Function*. PHD Thesis: University of London.
- Contessa, G. (2007b). "Scientific representation, interpretation, and surrogate reasoning", *Philosophy of Science*, **74**: 48–68.
- Contessa, G. (2010). "Scientific models and fictional objects", *Synthese*, **172**: 215–219.
- Contessa, G. (2011). "Scientific models and representation", pp. 120–137, en S. French y J. Saatsi (eds.), *The Continuum Companion to the Philosophy of Science*. New York: Continuum International Publishing Group.
- Cunningham, T. (2008). "To save the semantic view", en *PhilSci-archive*. Recuperado de <http://philsci-archive.pitt.edu/4429/>.
- Cunningham, T. (2013). "To save the semantic view: an argument for returning to Suppe's interpretation" en *PhilSci-archive*. Recuperado de <http://philsci-archive.pitt.edu/9952/>.
- Currie, G. (1990). *The Nature of Fiction*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Currie, G. (2016). "Models as fictions, fictions as models", *The Monist*, **99**:296–310.
- da Costa, N. y French, S. (1990). "The model-theoretic approach in the philosophy of science", *Philosophy of Science*, **57**: 248–265.
- da Costa, N., y French, S. (1993). "Towards an acceptable theory of acceptance: Partial structures, inconsistency and correspondence", pp. 137–158, en S. French y H. Kamminga (eds.), *Correspondence, Invariance and Heuristics*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- da Costa, N. y French, S. (2000). "Models, theories, and structures: thirty years on", *Philosophy of Science*, **67**: 116–127.
- da Costa, N. y French, S. (2003). *Science and Partial Truth: A Unitary Approach to Models and Scientific Reasoning*. New York: Oxford University Press.
- D'Alessandro, W. (2016). "Explicitism about truth in fiction", *The British Journal of Aesthetics*, **56**: 53–65.

- De Tar, C. y Donoghue, J. (1983). “Bag models of hadrons”, *Annual Review of Nuclear and Particle Science*, **33**: 235–64.
- Devitt, M. (1984). *Realism and Truth*. Princeton: Princeton University Press.
- Devitt, M. (1991a). “Aberrations of the realism debate”, *Philosophical Studies: An International Journal for Philosophy in the Analytic Tradition*, **61**: 43–63.
- Devitt, M. (1991b). “Realism without representation: a response to Appiah”, *Philosophical Studies: An International Journal for Philosophy in the Analytic Tradition*, **61**: 75–77.
- Dewey, J. (1905). “The realism of pragmatism”, *The Journal of Philosophy, Psychology and Scientific Methods*, **2** (12):324–327.
- Dewey, J. (1943). “The development of American pragmatism”, pp. 451–467, en D. Runes (ed.), *Twentieth Century Philosophy*. New York: Philosophical Library.
- Dewey, J. (2000). *La Miseria de la Epistemología*. Madrid: Biblioteca Nueva.
- Díez Calzada, J. A. (1997). “La concepción semántica de las teorías científicas”, *Éndoxa: Series Filosóficas*, **8**: 41–91.
- Díez, J. y Moulines, U. (1997). *Fundamentos de la Filosofía de la Ciencia*. Barcelona: Ariel Editorial.
- Downes, S. M. (1992). “The importance of models theorizing: a deflationary semantic view”, pp. 142–153, en D. Hull et al. (eds), *Proceedings of the Philosophy of Science Association*, Vol.1. East Lansing: Philosophy of Science Association.
- Downes, S. M. (2011). “Scientific models”, *Philosophy Compass*, **6** (11): 757–764.
- Ducheyne, S. (2006). “Lessons from Galileo: The Pragmatic model of shared characteristics of scientific representation”, *Philosophia Naturalis*, **43** (1): 214–234.
- Ducheyne, S. (2008). “Towards an ontology of scientific models”, *Metaphysica*, **9**: 119–127.
- Ducheyne, S. (2012). “Scientific representations as limiting cases”, *Erkenntnis*, **76** (1): 73–89.
- Dummett, M. (1978). *Truth and Other Enigmas*. London: Duckworth.
- Dummett, M. (1991). *The Logical Basis of Metaphysics*. Cambridge: Harvard University Press.

- Dunn, J.M. (1990). "Relevant predication: intrinsic properties and internal relations", *Philosophical Studies*, **60**: 177–206.
- Dupré, J. (1993). *The Disorder of Things: Metaphysical Foundations of the Disunity of Science*. Cambridge: Harvard University Press.
- Eklund, M. (2009). "Carnap and ontological pluralism", pp. 130–156, en D. J. Chalmers, D. Manley y R. Wasserman (eds.), *Metaphysics: New Essays on the Foundations of Ontology*. Oxford: Oxford University Press.
- Elgin, C. Z. (2009). "Exemplification, idealization and scientific understanding", pp. 77–90, en Suárez, M. (ed.), *Fictions in Science*. New York: Routledge.
- Field, H. (1982). "Realism and relativismo", *The Journal of Philosophy*, **79** (10): 553–567.
- Fine, A. (1984). "The natural ontological attitude", pp. 83–107, en J. Leplin (ed.), *Scientific Realism*. Berkeley: University of California Press.
- Fine, A. (1986). "Unnatural attitudes: realist and instrumentalist attachments to science", *Mind*, **95** (378): 149–179.
- Fine, A. (1991). "Piecemeal realism", *Philosophical Studies*, **61**: 79–96.
- Fine, A. (1993). "Fictionalism", *Midwest Studies in Philosophy*, **18**: 1–18.
- Fine, A. (2001). "The scientific image twenty years later", *Philosophical Studies: An International Journal for Philosophy in the Analytic Tradition*, **106** (1/2): 107–122.
- Fisher, G. (2006). "The autonomy of models and explanation: anomalous molecular rearrangements in early twentieth-century physical organic chemistry", *Studies in History and Philosophy of Science*, **37**: 562–584.
- Fischer, G. (2017). "Content, design, and representation in chemistry", *Foundations of Chemistry*, **19**: 17–28.
- Floridi, L. (2011). *The Philosophy of Information*. Oxford: Oxford University Press.
- Forster, M. R. (2000). "Hard problems in the philosophy of science: Idealisation and commensurability", pp. 231–250, en R. Nola y H. Sankey (eds.), *After Popper, Kuhn and Feyerabend*. Dordrecht: Springer.
- Forster, M. R. y Sober, E. (1994). "How to tell when simpler, more unified, or less ad-hoc theories will provide more accurate prediction", *The British Journal for the Philosophy of Science*, **45**: 1–35.

- Fortin, S. y Lombardi, O. (2021). “Is the problem of molecular structure just the quantum measurement problem?”, *Foundations of Chemistry*, **23** (3):379–395.
- Fortin, S., Lombardi, O. y Martínez González J.C. (2018). “A new application of the modal-Hamiltonian interpretation of quantum mechanics: The problem of optical isomerism”, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, **62**: 123–135.
- Frank, P. (1932). *The Law of Causality and its Limits*. Viena: Springer.
- French, S. (1999). “The phenomenological approach to physics”, *Studies in the History and Philosophy of Modern Physics*, **30**: 267–281.
- French, S. (2003). “A model-theoretic account of representation (Or, I don’t know much about art...but i know it involves isomorphism)”, *Philosophy of Science*, **70** (5): 1472–1483.
- French, S. (2013). “The structure of theories”, pp. 269–280, en Curd, M. y Psillos, S. (eds.), *The Routledge Companion to Philosophy of Science*. Londres: Routledge.
- French, S. (2014). *The Structure of the World: Metaphysics and Representation*. Oxford: Oxford University Press.
- French, S. (2017). “Identity conditions, idealisations and isomorphisms: a defence of the Semantic Approach”, *Synthese*, **194**: 3311–3326.
- French, S. y Ladyman, J. (1997). “Superconductivity and structures: revisiting the London account”, *Studies in History and Philosophy of Modern Science*, **28**: 363–393.
- French, S. y Ladyman, J. (1998). “A semantic perspective on idealization in quantum mechanics”, pp. 51–74, en N. Shanks (ed.), *Idealization VIII: Idealization in Contemporary Physics, Poznan Studies in the Philosophy of the Sciences and the Humanities*. Amsterdam: Rodopi.
- French, S. y Ladyman, J. (1999). “Reinflating the semantic approach”, *International Studies in the Philosophy of Science*, **13**: 103–121.
- French, S. y Ladyman, J. (2003). “Remodelling structural realism: Quantum physics and the metaphysics of structure”, *Synthese*, **136**: 31–56.
- French, S. y Saatsi, J. (2006). “Realism about structure: The semantic view and nonlinguistic representations”, *Philosophy of Science*, **73**: 548–559.
- French, S. y Vickers, P. (2011). “Are there no things that are scientific theories?”, *The British Journal for the Philosophy of Science*, **62**: 771–804.

- Friend, M. (2017). “Inconsistency in mathematics and chemistry”, *Humana Mente*, **32**: 31–51.
- Frigg, R. (2002). “Models and representation: why structures are not enough”, *Measurement in Physics and Economics Project Discussion Paper Series. DP MEAS 25/02, 2002*. Londres: London School of Economics. Recuperado de https://sas-space.sas.ac.uk/1042/1/R_Frigg_Models.pdf.
- Frigg, R. (2006). “Scientific representation and the semantic view of theories”, *Theoria*, **55**: 46–65.
- Frigg, R. (2009). “Models in physics”, en E. Craig (ed.), *Encyclopedia of Philosophy*. Londres: Routledge.
- Frigg, R. (2010). “Models and fiction”, *Synthese*, **172**: 251–268.
- Frigg, R. (2022). *Models and Theories*. New York: Routledge.
- Frigg, R. y Hartmann, S. (2006). “Models in science”, en E. N. Zalta (ed.), *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Stanford: Stanford University.
- Frigg, R. y Nguyen, J. (2016). “The fiction view of models reloaded”, *The Monist*, **99**: 225–242.
- Frigg, R. y Nguyen, J. (2017). “Models and representation”, pp. 49–102, en Magnani, L. y Bertolotti, T. (eds.), *Handbook of Model-Based Science*. New York: Springer.
- Frigg, R. y Votsis, I. (2011). “Everything you always wanted to know about structural realism but were afraid to ask”, *European Journal for Philosophy of Science*, **1** (2):227–276.
- Frisch, M. (2004). “Inconsistency in classical electrodynamics”, *Philosophy of Science*, **71**(4): 525–549.
- Frisch, M. (2005). *Inconsistency, Asymmetry and Non-Locality*. Oxford: Oxford University Press.
- Frisch, M. (2014). “Models and scientific representation or: who is afraid of inconsistency?”, *Synthese*, **191**: 3027–3040.
- Gavroglu, K. y Simoes, A. (2012a). “The Americans, the Germans, and the beginnings of quantum chemistry: The confluence of diverging traditions”, *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, **25** (1): 47–110.

- Gavroglu, K. y Simoes, A. (2012b). *Neither Physics nor Chemistry*. Boston: The MIT Press.
- Gelfert, A. (2016). *How to Do Science with Models*. Amsterdam: Springer.
- Gentile, N. (2019). “Estructuralismo empirista y realismo representativo”, pp. 399–422 en B. Borge y N. Gentile (eds), *La Ciencia y el Mundo Inobservable*. Buenos Aires: EUDEBA.
- Gentile, N. y Lucero, S. (2019a). “¿Hay un problema especial en la representación científica?”, pp. 354–360, en M. M. O’Lery, L. Federico y Y. Ariza (eds.), *Filosofía e Historia de la Ciencia en el Cono Sur. Selección de trabajos del IX encuentro*. Brasil: AFHIC.
- Gentile, N. y Lucero, S. (2019b). “Imaginación, modelos y ficciones”, en *XIX Congreso Nacional de Filosofía AFRA*. Argentina.
- Ghins, M. (2014). “Bohr’s theory of the hydrogen atom: A selective realist interpretation”, pp. 415–429, en L. Magnani (ed.), *Model-Based Reasoning in Science and Technology*. Berlin-Heidelberg: Springer.
- Giere, R. (1988). *Explaining Science, a Cognitive Approach*. Chicago: University of Chicago Press.
- Giere, R. (1999). *Science without Laws*. Chicago: University of Chicago Press.
- Giere, R. (2000). “Theories”, pp. 515–525, en W. Newton-Smith (ed.), *A Companion to the Philosophy of Science*. London: Blackwell.
- Giere, R. (2004). “How models are used to represent reality”, *Philosophy of Science*, **71**: 742–752.
- Giere, R. (2006a). *Scientific Perspectivism*. Chicago: University of Chicago Press.
- Giere, R. (2006b). “Perspectival pluralism”, pp. 26–41, en C. K. Waters (ed.), *Scientific Pluralism*. London: University of Minnesota Press.
- Giere, R. (2009). “Why scientific models should not be regarded as works of fictions”, en M. Suárez (ed.), *Fictions in Science: Philosophical Essays on Modeling and Idealization*. New York-London: Routledge.
- Giere, R., (2010). “An agent-based conception of models and scientific representation”, *Synthese*, **172**: 269–281.

- Giere, R. (2011). “Representing with physical models”, pp. 210–215, en P. Humphreys y C. Imbert (eds.), *Models, Simulations and Representations*. New York: Routledge.
- Glymour, C. (2013). “Theoretical equivalence and the semantic view of theories”, *Philosophy of Science*, **80** (2): 286–297.
- Godfrey-Smith, P. (2006). “The strategy of model-based science”, *Biology and Philosophy*, **21** (5): 725–740.
- Godfrey-Smith, P. (2009). “Models and fictions in science”, *Philosophical Studies*, **43**: 101–116.
- Goodman, N. (1968). *Languages of Art*. Indianapolis: Bobbs Merrill.
- Green, S. (2013). “When one model is not enough: Combining epistemic tools in systems biology”, *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Science*, **44**: 170–180.
- Grimm, S. R. (2011). “Understanding”, pp. 84–94, en S. Bernecker y D. Pritchard (eds.), *The Routledge Companion to Understanding*. London: Routledge.
- Grimm, S. R. (2012). ‘The Value of Understanding’, *Philosophy Compass*, **7**:103–117.
- Hacking, I. (1983). *Representar e Intervenir*. México: Paidós-UNAM, 1996.
- Halvorson, H. (2012). “What scientific theories could not be”, *Philosophy of Science*, **79**: 183–206.
- Halvorson, H. (2013). “The semantic view, if plausible, is syntactic”, *Philosophy of Science*, **80** (3): 475–478.
- Halvorson, H. (2016). “Scientific theories”, pp. 585–608, en P. Humphreys (ed.), *Oxford Handbook of Philosophy of science*. Oxford: Oxford University Press.
- Harris, T. (2003). “Data models and the acquisition and manipulation of data”, *Philosophy of Science*, **70**: 1508–1517.
- Hartmann, S. (1995). “Models as a tool for theory construction: Some strategies of preliminary physics”, pp. 49–67, en W. Herfel, W. Krajewski, I. Niiniluoto y R. Wójcicki (eds.), *Theories and Models in Scientific Processes*. New York: Rodopi.
- Hartmann, S. (1998). “Idealization in quantum field theory”, *Poznan Studies in the Philosophy of the Sciences and the Humanities*, **63**: 99–112.
- Hartman, S. (1999). “Models and stories in hadron physics”, pp. 326–346, en M. Morgan y M. Morrison (eds.), *Models as Mediators*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Heitler, W. y London, F. (1927). “Wechselwirkung neutraler Atome und homöopolare Bindung nach der Quantenmechanik”, *Zeitschrift für Physik*, **44**: 455–72.
- Hempel, C. (1970). “On the ‘standard conception’ of scientific theories”, pp.142–163, en M. Radner y S. Winokur (eds), *Analyses of Theories and Methods of Physics and Psychology. Minnesota Studies in the Philosophy of Science, Volume 4*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Hempel, C. (1979). “El dilema del teórico: un estudio sobre la lógica de la construcción de teorías”, pp. 179–229, en *La Explicación Científica*. Barcelona: Paidós.
- Hendry, R. F. (1995). *Realism, History, and the Quantum Theory*. Tesis Doctoral. Michigan: ProQuest.
- Hendry, R. F. (2006). “Two conceptions of the chemical bond”, *Philosophy of Science*, **75**: 909–920.
- Hendry, R. F. (2010). “Ontological reduction and molecular structure”, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, **41**: 183–191.
- Hesse, M. (1970). *Models and Analogies in Science*. Oxford: Oxford University Press.
- Hettema, H. (1995). “Bohr’s theory of the atom 1913-1923: A case study in the progress of scientific research programmes”, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, **26**: 307–323.
- Hettema, H. (2012). *Reducing Chemistry to Physics. Limits, Models, Consequences*. Groningen: Rijksuniversiteit Groningen.
- Hettema, H. (2017). *The Union of Chemistry and Physics*. Dordrecht: Springer.
- Hughes, R. I. G. (1989). *The Structure and Interpretation of Quantum Mechanics*. Cambridge MA: Harvard University Press.
- Hughes, R. I. G. (1997). “Models and representation”, *Philosophy of Science*, **64**: 325–336.
- Hund, F. (1929). “Chemical bonding”, *Transactions of the Faraday Society*, **25**: 646–648.
- Iczkowski, R.P. y Margrave J.L. (1961). “Electronegativity”, *Journal of the American Chemical Society*, **83** (17): 3547–3551.
- Jones, M. R. (2005). “Idealization and abstraction: A framework”, pp. 173–217, en M. R. Jones y N. Cartwright (eds.), *Idealization XII: Correcting the Model*. New York: Rodopi.

- Kellert, S., Longino, H. y Waters, K. (2006). "Introduction: The pluralist stance", pp. vii–xxix, en S. Kellert, H. Longino y K. Waters (eds.), *Scientific Pluralism*. Minneapolis: Minnesota University Press.
- Kitcher, P. (1993). *The Advancement of Science: Science Without Legend, Objectivity Without Illusions*. New York/Oxford: Oxford University Press.
- Kitcher, P. (2001). *Science, Truth, and Democracy*. Oxford: Oxford University Press.
- Klein, C. (2013). "Multiple realizability and the semantic view of theories", *Philosophical Studies*, **163**: 683–695.
- Knuuttila, T. (2003). "A Parser as an epistemic artefact: A material view on models", *Philosophy of Science*, **70**: 1484–1495.
- Knuuttila, T. (2005a). "Models, representation and mediation", *Philosophy of Science*, **72**: 1260–1271.
- Knuuttila, T. (2005b). *Models as Epistemic Artefacts: Toward a Non-Representationalist Account of Scientific Representation*. Helsinki: University of Helsinki.
- Knuuttila, T. (2009). "Representation, idealization, and fiction in economics. From the assumptions issue to the epistemology of modeling", pp. 205–231, en M. Suárez (ed.), *Fictions in Science: Philosophical Essays on Modeling and Idealization*. New York-London: Routledge.
- Knuuttila, T. y Boon, B. (2011). "How do models give us knowledge? The case of Carnot's ideal heat engine", *European Journal for Philosophy of Science*, **1**: 309–334.
- Kochen, S. y Specker, E. (1967). "The problem of hidden variables in quantum mechanics", *Journal of Mathematics and Mechanics*, **17**: 59–87.
- Krause, D. y Bueno, O. (2017). "Scientific theories, models and the semantic approach", *Principia: An international journal of epistemology*, **11** (2): 187–201.
- Krause, D., Arenhart, J. y Moraes, F. (2011). "Axiomatization and models of scientific theories", *Foundations of Science*, **16**: 363–382.
- Kukla, A. (1994). "Scientific realism, scientific practice, and the natural ontological attitude", *The British Journal for the Philosophy of Science*, **45** (4): 955–975.
- Kukla, A. (1998). *The Varieties of Realism*. In *Studies of Scientific Realism*. New York: Oxford University Press.

- Ladyman, J. (1998). "What is structural realism?", *Studies in History and Philosophy of Science*, **29** (3): 409–424.
- Ladyman, J. (2002). *Understanding Philosophy of Science*. London and New York: Routledge.
- Ladyman, J. (2011). "Structural realism versus standard scientific realism", *Synthese*, **180**: 87–101.
- Ladyman, J. y Ross, D. (2007). *Every Thing Must Go: Metaphysics Naturalized*. Oxford: Oxford University Press.
- Landry, E. (2007). "Shared structure need not be shared set-structure", *Synthese*, **158**: 1–17.
- Laudan, L. (1981). "A confutation of convergent realism", *Philosophy of Science*, **48**: 19–49.
- Le Bihan, S. (2012). "Defending the semantic view: What it takes", *European Journal for Philosophy of Science*, **2**: 249–274.
- Lennard-Jones, J. E. (1929). "The electronic structure of some diatomic molecules", *Transactions of the Faraday Society*, **25**: 668–686.
- Levy, A., (2012). "Models, fictions, and realism: Two packages", *Philosophy of Science*, **79**: 738–748.
- Lewis, G.N. (1916). "The atom and the molecule", *Journal of the American Chemical Society*, **38**: 762–785.
- Lewis, D. (1978). "Truth in fiction", *American Philosophical Quarterly*, **15** (1): 37–46.
- Lewis, D.(1983). "Extrinsic properties", *Philosophical Studies*, **44**: 197–200.
- Lewis, G. N. (1916). "The atom and the molecule", *Journal of the American Chemical Society*, **38**: 762–85.
- Lipton, P. (2007). "The world of science", *Science*, **316**: 834.
- Liu, C. (1999). "Approximation, idealization, and laws of nature", *Synthese*, **118**: 229–256.
- Lloyd, E. A. (1998). *The Structure and Confirmation of Evolutionary Theory*. New York: Greenwood Press.
- Lombardi, O. (1998). "La noción de modelo en ciencias", *Educación en Ciencias*, **II**: 5–13.
- Lombardi, O. (2010). "Los modelos como mediadores entre teoría y realidad", pp. 83–94, en Galagovsky, L. (ed.), *Modelos Científicos*. Buenos Aires: Editorial Lugar.

- Lombardi, O. (2014). “Linking chemistry with physics: arguments and counterarguments”, *Foundations of Chemistry*, **16**: 181–192.
- Lombardi, O. y Castagnino, M. (2010). “Matters are not so clear on the physical side”, *Foundations of Chemistry*, **12**: 159–66.
- Lombardi, O. y Labarca, M. (2005). “The ontological autonomy of the chemical world”, *Foundations of Chemistry*, **7**: 125–148.
- Lombardi, O. y Martínez González, J. C. (2012). “Entre mecánica cuántica y estructuras químicas: ¿a qué refiere la química cuántica?”, *Scientiae Studia*, **10**: 649–670.
- Lombardi, O. y Perez Ransanz, A. R. (2014). *Los Múltiples Mundos de la Ciencia. Un realismo pluralista y su aplicación a la filosofía de la física*. México: UNAM-Siglo XXI.
- London, E. y London, H. (1935). “The electromagnetic equations of the supraconductor”, *Proceedings of the Royal Society A (London)*, **149**: 71–88.
- Longino, H. (2006). “Theoretical pluralism and the scientific study of behavior”, pp.102–132, en S. Kellert, H. Longino y K. Waters (eds.), *Scientific Pluralism*. Minneapolis: Minnesota University Press.
- Lorenzano, P. (2013). “The semantic conception and the structuralist view of theories: a critique of Suppe’s criticisms”, *Studies in History and Philosophy of Science*, **44**: 600–607.
- Lucero, S. (2019). “El papel de la intencionalidad epistémica en las representaciones científicas. Compromisos realistas y anti-realistas”, pp. 423–448, en B. Borge y N. Gentile (eds.), *La Ciencia y el Mundo Inobservable: Discusiones Contemporáneas en Torno al Realismo Científico*. Buenos Aires: Eudeba.
- Luczak, J. (2016). “Talk about toy models”, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, **57**: 1–7.
- Lutz, S., (2012). “On a straw man in the philosophy of science: A defense of the received view”, *The Journal of the International Society for the History of Philosophy of Science*, **2** (1): 77–120.
- Lutz, S., (2014a). “The semantics of scientific theories”, en A. Brożek y J. Jadacki (eds.), *Festschrift for Marian Przełęcki in celebration of his 90th birthday*. Lublin: Norbertinum (Authoritative preprint: philsci-archive.pitt.edu/id/eprint/9630). Recuperado de

- http://philsci-archive.pitt.edu/9630/1/semantics_scientific_theories.pdf.
- Lutz, S., (2014b). “What’s right with a syntactic approach to theories and models?”, *Erkenntnis*, **79**: 1475–1492.
- Lutz, S., (2017). “What was the sintaxis-semantics debate in the philosophy of science about?”, *Philosophy and Phenomenological Research*, **95** (2): 319–352.
- Lynch, M. (1998). *Truth in Context*. Cambridge: The MIT Press.
- Marshall, D. (2018). “Intrinsic vs. extrinsic properties”, en E. N. Zalta (ed.). *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Recuperado de <https://plato.stanford.edu/archives/spr2018/entries/intrinsic-extrinsic/>.
- Martínez González, J. C. (2019). “The problem of optical isomerism and the interpretation of quantum mechanics”, *Foundations of chemistry*, **21**: 97–107.
- Massimi, M. (2018a). “Perspectivism”, pp. 164–175, en J. Saatsi (ed.), *The Routledge Handbook of Scientific Realism*, London-New York: Routledge.
- Massimi, M. (2018b). “Perspectival modeling”, *Philosophy of Science*, **85**: 335–359.
- Massimi, M. (2018c). “Four kinds of perspectival truth”, *Philosophy and Phenomenological Research*, **96** (2): 342–359.
- Massimi, M. (2022). *Perspectival Realism*. Oxford: Oxford University Press.
- Mitchell, S. (2002). “Integrative pluralism”, *Biology and Philosophy*, **17** (1): 55–70.
- Maxwell, G. (1962). “The ontological status of theoretical entities”, pp. 3–27, en H. Feigl y G. Maxwell (eds.), *Minnesota Studies in the Philosophy of Science Vol. III*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- McAllister, J. W. (1997). “Phenomena and patterns in data sets”, *Erkenntnis*, **47**: 217–228.
- McKinsey, J. C., Sugar, A y Suppes, P. (1953). “Axiomatic foundations of classical particles Mechanics”, *Journal of Rational Mechanics and Analysis*, **2**: 253–272.
- McMullin, E. (1985). “Galilean idealization”, *Studies in History and Philosophy of Science*, **16**: 247–273.
- McWeeny, R. (1979). *Coulson’s Valence*. Oxford-New York-Toronto: Oxford University Press.
- Mikenberg, I., da Costa, N. y Chuaqui, R. (1986). “Pragmatic truth and approximation to truth”, *The Journal of Symbolic Logic*, **51** (1): 201–221.

- Mitsch, C. (2019). “An examination of some aspects of howard stein’s work”, *Studies in History and Philosophy of Science*, **66**: 1–13.
- Morgan, M. (1999). “Learning from models”, pp. 347–388, en M. Morgan y M. Morrison (eds.), *Models as Mediators*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Morgan, M. y Knuuttila, T. (2012). “Models and modelling in economics”, pp. 49-87, en U. Mäki (ed.), *Philosophy of Economics*. New York: Elsevier.
- Morgan, M. y Morrison, M. (1999). “Introduction”, “Models as mediating instruments”, pp. 1–37, en M. Morgan y M. Morrison (eds.), *Models as Mediators*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Morrison, M. (1999). “Models as autonomous agent”, pp. 38–65, en M. Morgan y M. Morrison (eds.), *Models as Mediators*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Morrison, M. (2000). *Unifying Scientific Theories*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Morrison, M. (2005). “Approximating the real: The role of idealizations in physical theory”, 145–172, en M. R. Jones y N. Cartwright (eds.), *Idealization XII: Correcting the Model*. New York: Rodopi.
- Morrison, M. (2007). “Where have all the theories gone?”, *Philosophy of Science*, **74** (2): 195–228.
- Morrison, M. (2009). “Fictions, representations, and reality”, pp. 110–138, en Suárez, M (ed.), *Fictions in Science: Philosophical Essays on Modeling and Idealization*. New York-London: Routledge.
- Morrison, M. (2011). “One phenomenon, many models: Inconsistency and complementarity”, *Studies in History and Philosophy of Science*, **42**: 342–351.
- Morrison, M. (2015). *Reconstructing Reality: Models, Mathematics, and Simulations*. New York: Oxford University Press.
- Moulines, C. U., y Straub, R. (1994). “Approximation and idealization from the structuralist point of view”, pp. 25–48, en M. Kuokkanen (ed.), *Idealization VII: Structuralism, Idealization and Approximation*. New York: Rodopi.
- Mulliken, R. (1932). “Electronic structures of polyatomic molecules and valence”, *Physical Review*, **40**: 55–62.

- Mulliken, R. (1934). "A new electroaffinity scale; together with data on valence states and on valence ionization potentials and electron affinities", *Journal of Chemical Physics*, **2**: 782–793.
- Mulliken, R. (1960). "What are the electrons really doing in molecules", *Selected papers (ref. 15), on 13, an excerpt from Mulliken's speech on receiving Lewis' award, Vortex*, **21**: 1–5.
- Mulliken, R. S. (1975). *Selected papers of R.S. Mulliken*. D. A. Ramsey y J. Hinze (eds.). Chicago: University of Chicago Press.
- Mulliken, R. S. (1989). *Life of a Scientist – an autobiographical account of the development of molecular orbital theory with an introductory memoir by Friedrich Hund*, B. J. Ransil (ed.). Berlin: Springer-Verlag.
- Musgrave, A. (1976). "Why did oxygen supplant phlogiston? Research programmes in the Chemical Revolution", pp. 181–209, en C. Howson (ed.), *Method and Appraisal in the Physical Sciences*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Nagel, E. (1961). *The Structure of Science*. New York: Harcourt, Brace & World.
- Neuber, M. (2018). "Realism and logical empiricism", pp. 7–19, en J. Saatsi (ed.), *The Routledge Handbook of Scientific Realism*. New York: Routledge Taylor & Francis Group.
- Nguyen, J. (2016). "On the pragmatic equivalence between representing data and phenomena", *Philosophy of Science*, **83**:171–191.
- Niiniluoto, I. (1999). *Critical Scientific Realism*. Oxford: Oxford University Press.
- Norton, J.(2002). "A paradox in Newtonian gravitation theory II", pp. 185–195, en J. Meheus (ed.), *Inconsistency in Science*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Norton, J. (2012). "Approximation and idealization: why the difference matters", *Philosophy of Science*, **79**: 207–232.
- Olivé, L. y Pérez Ransanz A. R. (comp.) (1989). *Filosofía de la Ciencia: Teoría y Observación*. Madrid: Siglo XXI.
- Orlando, E. (2000). "El ataque de Putnam al realismo metafísico", *Crítica*, **32** (94): 3–27.
- Park, B. S. (1999). "Chemical translators: Pauling, Wheland and their strategies for teaching the theory of resonance", *The British Journal for the History of Science*, **32**: 21–46.

- Pauling, L. (1926). "Letter Pauling to Noyes", 1921–1938, April 25, PP, Box 71, Noyes A. A.
- Pauling, L. (1932). "The nature of the chemical bond. IV. The energy of single bonds and the relative electronegativity of atoms", *Journal of American Chemical Society*, **54** (9): 3570–3582.
- Pauling, L. (1950). *College Chemistry: An Introductory Textbook of General Chemistry*, 2nd edn. San Francisco: W. H. Freeman & Company.
- Pauling, L. y Wilson, E. B. (1935). *Introduction to Quantum Mechanics with Applications to Chemistry*. New York: McGraw-Hill.
- Pincock, C. (2005). "Overextending partial structures: Idealization and abstraction", *Philosophy of Science*, **72** (5): 1248-1259.
- Pincock, C. (2011a). "Fictions in science: Philosophical essays on modeling and idealization", *International Studies in the Philosophy of Science*, **25**: 196–199.
- Pincock, C. (2011b). "Modeling reality", *Synthese*, **180** (1): 19–32.
- Plate, J. (2018). "Intrinsic properties and relations", *Inquiry: An Interdisciplinary Journal of Philosophy*, **61** (8):783-853.
- Politzer, P., Grice, M. E. y Murray, J. S. (2001). "Electronegativities, electrostatic potentials and covalent radii", *Journal of Molecule Structure*, **549**: 69–76.
- Politzer, P. y Murray, J. S. (2018). "Electronegativity –a perspective", *Journal of Molecular Modeling*, **24**: 214–221.
- Politzer, P., Inga Shields, Z. P., Bulat, F. A. y Murray, J. S. (2011). "Average local ionization energies as a route to intrinsic atomic electronegativities", *Journal of Chemical Theory and Computation*, **7**: 377–384.
- Popper, K. (1940). "What is dialectic?", *Mind*, **49**: 403–436.
- Popper, K. R. (1963). *Conjectures and Refutations*. London: Routledge.
- Portides, D. P., (2005). "Scientific models and the semantic view of scientific theories", *Philosophy of Science*, **72**: 1287–1298.
- Post, H. R. (1974). *Against Ideologies*, Inaugural Lecture. Chelsea College, University of London.

- Poznic, M., (2016). “Representation and similarity: Suárez on necessary and sufficient conditions of scientific representation”, *Journal for General Philosophy of Science*, **47**: 331–347.
- Poznic, M., (2018). “Thin versus thick accounts of scientific representation”, *Synthese*, **195**: 3422–3451.
- Priest, G. (2002). “Paraconsistent logic.”, pp. 287–393, en D. Gabbay y F. Guenther (eds.), *Handbook of Philosophical Logic*. Dordrecht: Kluwer Academic.
- Primas, H. (1994). “Hierarchic quantum descriptions and their associated ontologies”, pp. 210–220, en K. V. Laurikainen, C. Montonen y K. Sunnarborg (eds.), *Symposium on the Foundations of Modern Physics*. Paris: Editions Frontières.
- Pritchard, H. O. y Skinner, H. A. (1955). “The concept of electronegativity”, *Chemical Review*, **55** (4): 745–786.
- Psillos, S. (1999). *Scientific Realism: How Science Tracks Truth*. New York-London: Routledge.
- Psillos, S. (2022). “Re-inflating the realism-instrumentalism controversy”, pp. 261–284, en W. J. Gonzalez (ed.), *Current Trends in Philosophy of Science*. Dordrecht: Springer.
- Psillos, S. y Zorzato, L. (2020). “Against cognitive instrumentalism”, *International Studies in the Philosophy of Science*, **33** (4): 247–257.
- Putnam, H.. (1962). “What theories are not”, pp. 240–251, en E. Nagel, P. Suppes y A. Tarski (eds.), *Logic, Methodology and Philosophy of Science: Proceedings of the 1960 International Congress*. Stanford: Stanford University Press.
- Putnam, H. (1971). *Philosophy of Logic*. London: Allen & Unwin.
- Putnam, H. (1981). *Reason, Truth and History*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Putnam, H. (1994) *Words and Life*. Cambridge: Harvard University Press.
- Quine, W. (1953). *Desde un Punto de Vista Lógico*. México: Hispanoamérica Ediciones.
- Qteish, A. (2019). “Electronegativity scales and electronegativity-bond ionicity relations: A T comparative study”, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, **124**: 186–191.
- Ramsey, F. P. (1927). “Symposium: Facts and propositions”, *Proceedings of the Aristotelian Society Supplementary*, **7**: 153–206.
- Ramsey, F. (1931). *The Foundations of Mathematics and Other Essays*. London: Routledge and Kegan Paul.

- Reed, J. L. (1981). “Electronegativity. An isolated atom property”, *Journal of Chemical Physics*, **85**: 148–153.
- Redhead, M. (1980). “Models in physics”, *The British Journal for the Philosophy of Science*, **44**: 145–63.
- Rott, H. (1989). “Approximation versus idealization: The Kepler-Newton case”, *Poznan Studies in the Philosophy of the Sciences and the Humanities*, **17**: 101–124.
- Rowbottom, D. (2011). “The instrumentalist’s new clothes”, *Philosophy of Science*, **78** (5): 1200–1211.
- Rowbottom, D. (2014). “Aimless science”, *Synthese*, **191** (6): 1211–1221.
- Rowbottom, D. (2018). “Instrumentalism”, pp. 84–95, en J. Saatsi (ed.), *The Routledge Handbook of Scientific Realism*. New York: Routledge, Taylor & Francis Group.
- Rowbottom, D. (2019). *The Instrument of Science*. New York: Routledge, Taylor & Francis Group.
- Rubin, H. y Suppes, P. (1954). “Transformation of system of relativistic particle mechanics”, *Pacific Journal of Mathematics*, **4**: 563–601.
- Rueger, A. (2005). “Perspectival models and theory unification”, *The British Journal for the Philosophy of Science*, **56**: 579–94.
- Russell, B. (1905). “On denoting”, *Mind. New Series*, **14**: 479–493.
- Ruthenberg, K. y Martínez González, J. C. (2017). “Electronegativity and its multiple faces: persistence and measurement”, *Foundations of Chemistry*, **19**: 61–75.
- Ruyant, Q. (2021). “True Griceanism: filling the gaps in Callender and Cohen’s account of scientific representation”, *Philosophy of Science*, **88** (3): 533–553.
- Saatsi, J. (2014). “Inconsistency and scientific realism”, *Synthese*, **191** (13): 2941–2955.
- Saatsi, J. (2016). “Models, idealizations and realism”, pp. 173–189, en E. Ippoliti, F. Sterpetti y T. Nickles (eds.), *Models and Inference Science*. Dordrecht: Springer.
- Sankey, H. (2008). *Scientific Realism and the Rationality of Science*. Farham: Ashgate Publishing.
- Scarantino, A. y Piccinini, G. (2010). “Information without truth”, *Metaphilosophy*, **41**(3): 313–330.

- Scerri, E. (2000). “The failure of reduction and how to resist disunity of the sciences in the context of chemical education”, *Science & Education*, **9**: 405–425.
- Schlick, M. ([1926] 1979). “Experience, cognition, metaphysics”, pp.99–111, en H. L. Mulder et al. (eds.), *Moritz Schlick: Philosophical Papers* (Vol. 2). Dordrecht: Reidel.
- Schlick, M. ([1931] 2008). “The future of philosophy”, pp. 291–303, en H. Rutte et al. (eds.), *Moritz Schlick Gesamtausgabe*. Viena y New York: Springer.
- Schlick, M. ([1932] 1979). “Positivism and realism”, pp. 259–284, en H. L. Mulder et al. (eds.), *Moritz Schlick: Philosophical Papers* (Vol. 2). Dordrecht: Reidel.
- Seifert, V. (2022). “The chemical bond is a real pattern”, *Philosophy of Science*, 1-47 (forthcoming). Recuperado de <http://philsci-archive.pitt.edu/20333/>.
- Shaik, S. y Hiberty, P. C. (2003). “Myth and reality in the attitude toward Valence-Bond (VB) theory: Are its ‘failures’ real?”, *Helvetica Chimica Acta*, **86**: 1063–1084.
- Shaik, S., Danovich, D. y Hiberty, P. C. (2021). “Valence Bond Theory—Its birth, struggles with Molecular Orbital Theory, its present state and future prospects”, *Molecules*, **26**: #1624.
- Sider, T.(1996). “Intrinsic properties”, *Philosophical Studies*, **83**: 1–27.
- Slater, J.C. (1931). “Molecular energy levels and valence bonds”, *Physical Review*, **38**: 1109–1144.
- Smith, J. (1988a). “Scientific reasoning or damage control: Alternative proposals for reasoning with inconsistent representations of the world,” *PSA 1988*, **1**: 241–248.
- Smith, J. (1988b). “Inconsistency and scientific reasoning”, *Studies in History and Philosophy of Science*, **19**: 429–445.
- Sneed, J. (1971). *The Logical Structure of Mathematical Physics*. Dordrecht: Reidel.
- Sober, E. (1999). “Instrumentalism revisited”, *Crítica, Revista Hispanoamérica de Filosofía*, **31** (91): 3–39.
- Sober, E. (2002). “Instrumentalism, parsimony, and the Akaike framework”, *Philosophy of Science*, **69** (3): 111–123.
- Sober, E. (2008). “Empiricism”, pp. 129–138, en S. Psillos y M. Curd (eds.), *The Routledge Companion to Philosophy of Science*. New York: Routledge.
- Stanford, K. (2006). *Exceeding our Grasp*. Oxford: University Press.

- Stefanov, A. (2012). “Theoretical models as representations”, *Journal for General Philosophy of Science*, **43**: 67–76.
- Stegmüller, W. (1979). *The Structuralist View of Theories*. New York: Springer.
- Stein, H. (1989). “Yes, but ... some skeptical remarks on realism and anti-realism”, *Dialectica*, **43**: 47–65.
- Sterrett, S. G. (2005). “Kind of models”, en PhilSci–archive. Recuperado de <http://philsci-archive.pitt.edu/id/eprint/2363>.
- Suárez, M. (1997). *Models of the World, Data-Models and the Practice of Science*, PhD Thesis. London School of Economics.
- Suárez, M. (1999a). “The role of models in the application of scientific theories: Epistemological implications”, pp. 168–196, en M. Morgan y M. Morrison (eds.), *Models as Mediators*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Suárez, M., (1999b). “Theories, models, and representations”, pp. 75–84, en L. Magnani, N. Nersessian y P. Thagard (eds.), *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery*. Boston: Springer.
- Suárez, M. (2003). “Scientific representation: Against similarity and isomorphism”, *International Studies in the Philosophy of Science*, **17**: 225–244.
- Suárez, M. (2004). “An inferential conception of scientific representation”, *Philosophy of Science*, **71**: 767–779.
- Suárez, M. (2009a). “Fictions in scientific practice”, pp. 3–15, en M. Suárez (ed.), *Fictions in Science*. New York: Routledge.
- Suárez, M. (2009b). “Scientific fictions as rules of inference”, pp. 158–178, en M. Suárez (ed.), *Fictions in Science*. New York: Routledge.
- Suárez, M. (2010a). “Fictions, inference and realism”, en PhilSci–archive, pp. 1–19. Recuperado de <http://philsci-archive.pitt.edu/5013/>.
- Suárez, M. (2010b). “Scientific representation”, *Philosophy Compass*, **5**: 91–101.
- Suárez, M. (2015). “Deflationary representation, inference, and practice”, *Studies in History and Philosophy of Science*, **49**: 36–47.
- Suárez, M. y Cartwright, N. (2008). “Theories: tools versus models”, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, **39**: 62–81.

- Suárez, M. y Solé, A. (2006). “On the analogy between cognitive representation and truth”, *Theoria*, **55**: 39–48.
- Suppe, F. (1967). “The meaning and use of models”, *Mathematics and the Exact Sciences*. Ph.D. dissertation. Ann Arbor: University of Michigan.
- Suppe, F. (1977). *The Structure of Scientific Theories*. Second Edition. Urbana-Chicago: University of Illinois Press.
- Suppe, F. (1989). *The Semantic Conception of Theories and Scientific Realism*. Urbana: University of Illinois Press.
- Suppe, F. (2000). “Understanding scientific theories: An assessment of developments, 1969–1998”, *Philosophy of Science*, **67**: 102–115.
- Suppes, P. (1962). “Models of data”, pp. 252–261, en E. Nagel, P. Suppes y A. Tarski (eds.), *Logic, Methodology, and Philosophy of Science: Proceedings of the 1960 International Congress*. Stanford: Stanford University Press.
- Suppes, P. (1967). “What is a scientific theory”, pp. 55–67, en S. Morgenbesser (ed.), *Philosophy of Science Today*. New York: Basic Books.
- Suppes, P. (2002). *Representation and Invariance of Scientific Structures*. Stanford: Center for the Study of Language and Information (CSLI).
- Sutcliffe, B. T. (1996). “The development of the idea of a chemical bond”, *International Journal of Quantum Chemistry*, **58**: 645–655.
- Sutcliffe, B. T. y Woolley, R. G. (2012). “Atoms and molecules in classical chemistry and quantum mechanics”, pp. 387–426, en R. F. Hendry y A. Woody (eds.), *Handbook of Philosophy of Science*. Oxford: Elsevier.
- Swoyer, C. (1991). “Structural representation and surrogative reasoning”, *Synthese*, **87**: 449–308.
- Tan, P. (2021). “Inconsistent idealizations and inferentialism about scientific representation”, *Studies in History and Philosophy of Science*, **89**: 11–18.
- Teller, P. (2001a). “Whither constructive empiricism?”, *Philosophical Studies*, **106**: 123–150.
- Teller, P. (2001b). “Twilight of the perfect model model”, *Erkenntnis*, **55**: 393–415.

- Teller, P. (2009). "Fictions, fictionalization, and truth in science", pp. 235–247, en M. Suárez (ed.), *Fictions in Science: Philosophical Essays on Modeling and Idealization*. New York-London: Routledge.
- Teller, P. (2011). "Two models of truth", *Analysis*, **71** (3): 465–472.
- Thomson-Jones, M. (1997). "Models and the semantic view", *Philosophy of Science*, **74**: 524–535.
- Toon, A. (2010). "Models as make-believe", pp 71–96, en R. Frigg and M. C. Hunter (eds.), *Beyond Mimesis and Convention: Representation in Art and Science*. Berlin: Springer.
- Toon, A. (2012). "Similarity and scientific representation", *International Studies in the Philosophy of Science*, **26** (3): 241–257.
- Vaihinger, H. (1911). *The Philosophy of 'As If': A System of the Theoretical, Practical, and Religious Fictions of Mankind* (English trans. C. K. Ogden). London: Kegan Paul.
- van Cleve, J. (1992). "Semantic superveniente and referencial indeterminacy", *The Journal of Philosophy*, **89** (7): 344–361.
- van Fraassen, B. C. (1970). "On the extension of Beth's semantics of physical theories", *Philosophy of Science*, **37** (3): 325–339.
- van Fraassen, B. C. (1980). *La Imagen Científica*. México: Paidós.
- van Fraassen, B. C. (1987). "The semantic approach to scientific theories", pp. 105–124, en N. J. Nersessian (ed.), *The Process of Science*. Dordrecht: Martinus Nijhoff.
- van Fraassen, B. C. (1989). *Laws and Symmetry*. Oxford: Clarendon Press.
- van Fraassen, B. C. (2006). "The problem for structuralism", *Philosophy of Science*, **73**: 536–547.
- van Fraassen, B. C. (2008). *Scientific Representation: Paradoxes of Perspective*. Oxford: Oxford University Press.
- van Fraassen, B. C. (2014). "One or two gentle remarks about Hans Halvorson's critique of the semantic view.", *Philosophy of Science*, **81** (2): 276–283.
- van Neumann, J. (1955). "Method in the physical science", pp. 157–164, en L. G. Leary (ed.), *The Unity of Knowledge*. New York: Doubleday.
- van Vleck, J. H. y Sherman, A. (1935). "The quantum theory of valence". *Review of Modern Physics*, **7** (3): 167–228.

- Vickers, P. (2008). “Bohr’s theory of the atom: Content, closure and consistency”. Recuperado de http://philsci-archival.pitt.edu/4005/1/Bohr_April_2008.pdf.
- Vickers, P. (2009). “Can partial structures accommodate inconsistent science?”, *Principia*, **13** (2): 233–250.
- Vickers, P. (2013). *Understanding Inconsistent Science*. Oxford: Oxford University Press.
- Villaveces, J. y Daza, E. (1990). “On the topological approach to the concept of chemical structure”, *International Journal of Quantum Chemistry*, **24**: 97–106.
- Votsis, I. (2012). “Putting realism in perspectivism,” *Philosophica*, **84**: 85–122.
- Walton, K. L. (1990). *Mimesis as Make-Believe: On the Foundations of the Representational Arts*, Cambridge: Harvard University Press.
- Weisberg, M. (2006). “Robustness analysis”. *Philosophy of Science*, **73**: 730–742.
- Weisberg, M. (2007). “Who is a modeler?”, *The British Journal for the Philosophy of Science*, **58**: 207–233.
- Weisberg, M. (2008). “Challenges to the structural conceptions of chemical bonding”, *Philosophy of Science*, **75**: 932–46.
- Weisberg, M. (2013). *Simulation and Similarity*. Oxford: Oxford University Press.
- Wimsatt, W. C. (2007). “False models as means to truer theories”, pp. 94–132, W. C. Wimsatt (ed.), *Re-Engineering Philosophy for Limited Beings*. Cambridge: Harvard University Press.
- Winsberg, E. (2006). “Models of success versus the success of models: reliability without truth”, *Synthese*, **152**: 1–19.
- Winsberg, E. (2009). “A function for fictions: expanding the scope of science”, pp. 179–189, en M. Suárez (ed.), *Fictions in Science: Philosophical Essays on Modeling and Idealization*. New York–London: Routledge.
- Woodward, J. (1989). “Data and phenomena”, *Synthese*, **79**: 393–472.
- Woody, A. I. (2000). “Putting quantum mechanics to work in chemistry: the power of diagrammatic representation”, *Philosophy of Science*, **67**: S612–S627.
- Woody, A. I. (2012). “Concept amalgamation and representation in quantum chemistry”, pp. 427–466, en A. Woody, R. F. Hendry y P. Needham (eds.), *A Handbook of Philosophy of Science, vol. 6: Philosophy of Chemistry*. Oxford: Elsevier.

- Woolley, R. G. (1978). "Must a molecule have a shape?", *Journal of the American Chemical Society*, **100**: 1073–1078.
- Woolley, R. G. (1982). "Natural optical activity and the molecular hypothesis", *Structure and Bonding*, **52**: 1–35.
- Woolley, R. G. (1998). "Is there a quantum definition of a molecule?", *Journal of Mathematical Chemistry*, **23**: 3–12.
- Woolley, R. G. y Sutcliffe, B. T. (1977). "Molecular structure and the Born-Oppenheimer approximation", *Chemical Physics Letters*, **45**: 393–398.
- Worrall, J. (1989). "Structural realism: The best of both worlds?", *Dialéctica*, **43**: 99–124.
- Zhao, L., Pan, S., Holzmann, N., Schwerdtfeger, P. y Frenking, G. (2019). "Chemical bonding and bonding models of main-group compounds", *Chemical Reviews*, **119** (14): 8781–8845.