Vol. XXII - No. 44 2022 enero - junio ISSN: 0124-4620 EISSN: 0124-4620

rcfc

Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia

2022 enero - junio ISSN: 0124-4620

UNIVERSIDAD EL BOSQUE
Departamento de Humanidades
Programa de Filosofía
Maestría en Filosofía de la Ciencia

rcfc

Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia

Indexada en
Philosopher's Index
Red de revistas científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal (RedALyC)
Emerging Sources Citation Index (ESCI)
Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico (REDIB)
Directory of Open Access Journals (DOAJ)
Dialnet

UNIVERSIDAD EL BOSQUE
Departamento de Humanidades
Programa de Filosofía
Maestría en Filosofía de la Ciencia

UNIVERSIDAD
EL BOSQUE
Departamento de Humanidades
Programa de Filosofía
Maestría en Filosofía de la Ciencia

© Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia
ISSN: 0124-4620 ISSN: 2463-1159. *https://doi.org/10.18270/rcfc.v22i44*
Volumen XXII No. 44
2022 enero – junio

Editor Edgar Eslava
Editores Invitados: Eugenio Andrade Pérez - *Colombia*, Santiago Arcila Rodríguez - *Colombia*
Editor Asistente José Álvarez
Asistente Editorial Andrés Felipe Montañez
Comité Editorial Gustavo Caponi, *Universidad Federal de Santa Catarina*. José Luis Cárdenas, *Universidad El Bosque*. Flor Emilce Cely, *Universidad El Bosque*. William Duica, *Universidad Nacional de Colombia*. Olimpia Lombardi, *Universidad de Buenos Aires*.
Comité Científico Rafael Alemañ, *Universidad Miguel Hernández, España*. Alfredo Marcos, *Universidad de Valladolid*, España. Nicholas Rescher, *Universidad de Pittsburg*, EE.UU, Ivana Anton Mlinar, *Universidad de Cuyo,* Argentina.
Fundador Carlos Eduardo Maldonado, Universidad El Bosque

UNIVERSIDAD EL BOSQUE
Rectora María Clara Rangel Galvis, OD, MSC, PHD
Vicerrectora Académica Rita Cecilia Plata de Silva
Vicerrector Administrativo Francisco José Falla Carrasco
Vicerrectora de Investigaciones Dra. Natalia Ruiz Rodgers PhD
Director del Departamento de Humanidades Camilo Duque Naranjo
Directora del Programa de Filosofía Ana Isabel Mendieta P.
Director de la Maestría en Filosofía de la Ciencia Eugennio Andrade MG
Corrección de estilo Daniela Echeverry Ortiz danyohtarwen@gmail.com
Concepto, diseño, diagramación y cubierta Editorial Universidad El Bosque
Solicitud de canje Universidad El Bosque, Biblioteca – Canje, Bogotá - Cundinamarca - Colombia, biblioteca@unbosque.edu.co
Suscripción electrónica Para recibir dos números al año solicitar el formulario de suscripción al correo revistafilosofiaciencia@unbosque.edu.co
Correspondencia e información Universidad El Bosque, Departamento de Humanidades, Cra. 7B # 132-11, Tel. (57-1) 258 81 48, revistafilosofiaciencia@unbosque.edu.co

Contenido

Sobre la hipótesis de la tierra rara como solución a la paradoja de Fermi: desde la humildad copernicana hasta la gratitud ante gaia y el asombro activo
Germán Bula & Oscar Javier Pérez-Lora - Colombia 11

Sobre la neutralidad epistémica del argumento del no milagro como inferencia a la mejor explicación
Juan Manuel Remesar - Argentina 35

La evolución de los conceptos de la física del siglo XIX: un análisis a partir de la tipología de Shapere
Fernanda Samaniego Bañuelos & Nalliely Hernández Cornejo - México 59

La relevancia de la invariancia frente a inversión temporal para la flecha del tiempo
Olimpia Lombardi & Leonardo Vanni - Argentina 105

La lógica de la investigación científica: Charles Sanders Peirce
Álvaro Enrique Pereira Reyes - Colombia 133

Discusiones sobre el concepto de población humana en la investigación epidemiológica del dengue en Argentina
Carolina Ocampo Mallou, Ailin Delvitto & Federico Di Pasquo - Argentina 169

Indicaciones para los Autores 213

Contents

On the Rare Earth Solution to Fermi's paradox: from Copernican humility to Gaian Gratitude and the Collective Amazement
Germán Bula & Oscar Javier Pérez-Lora - Colombia 11

On the Epistemic Neutrality of the No Miracle Argument as Inference to the Best Explanation
Juan Manuel Remesar - Argentina 35

The Conceptual Evolution of 19th Century Physics: an Analysis Based on Shapere's Typology
Fernanda Samaniego Bañuelos & Nalliely Hernández Cornejo - México 59

The Relevance of the Invariance Under Time-reversal to the Arrow of Time
Olimpia Lombardi & Leonardo Vanni - Argentina 105

The Logic of Scientific Inquiry: Charles Sanders Peirce
Álvaro Enrique Pereira Reyes - Colombia 133

Debates about the Concept of Human Population in Epidemiological Research of Dengue in Argentina
Carolina Ocampo Mallou, Ailin Delvitto & Federico Di Pasquo - Argentina 169

Instructions for Authors 217

Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia
Vol. 22 n.o 44 (2022): 11-34
ISSN: 0124-4620 (papel) & 2463-1159 (electrónico)

Fecha de recepción: 16/11/2021
Fecha de aprobación: 09/05/2022
Fecha de publicación: 29/06/2022
https://doi.org/10.18270/rcfc.v22i44.3814

Sobre la hipótesis de la tierra rara como solución a la paradoja de Fermi: desde la humildad copernicana hasta la gratitud ante Gaia y el asombro activo*

On the Rare Earth Solution to Fermi's Paradox: From Copernican Humility to Gaian Gratitude and the Collective Amazement

Germán Bula
Universidad de la Salle
Bogotá, Colombia.
https://orcid.org/0000-0002-1296-0610
prefesorbula@yahoo.com

Oscar Javier Pérez-Lora
Universidad Nacional de Colombia
Bogotá, Colombia.
https://orcid.org/0000-0002-4242-6929
ojperezl@unal.edu.co

CC BY NC ND

RESUMEN

La humildad copernicana establece que el universo es un lugar homogéneo en el que las leyes aplican indistintamente en cualquier lugar, es decir, no existe un centro o lugar privilegiado. En ese sentido, el lugar que ocupa la Tierra en el universo es como cualquier otro, nada especial y mucho menos relacionado al favor de un Dios omnipotente cuya creación favorita sea el ser humano. Siendo esto así, sería factible pensar la existencia de muchos otros planetas que como la Tierra alberguen vida y sustenten civilizaciones tan o más avanzadas como la nuestra. Sin embargo, ¿por qué aún no hemos contactado con

* Este artículo se debe citar: Bula, Germán & Pérez-Lora, Oscar. "Sobre la hipótesis de la Tierra rara como solución a la paradoja de Fermi: desde la humildad copernicana hasta la gratitud ante Gaia y el asombro activo". *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia* 22.44 (2022): 11-34. *https://doi.org/10.18270/rcfc.v22i44.3814*

otras civilizaciones? Esto último se conoce como la paradoja de Fermi. ¿Por qué si la Tierra es solo un punto más en el universo parece que no hay otras Tierras y otros seres inteligentes con quienes contactar? Una posible solución que intentamos discutir en el presente texto es la hipótesis de la Tierra rara, según la cual, en efecto, el planeta Tierra es una cosa extraordinaria en el universo. Más allá de discutir la plausibilidad de esta hipótesis frente a otras, interesa puntualizar algunos corolarios que se siguen de esta, y su implicación para el copernicanismo desde un punto de vista filosófico.

Palabras clave: Gaia; humildad copernicana; tierra; vida; paradoja de Fermi.

ABSTRACT

The Copernican humility says that the Universe is a homogeneous place where the laws apply indistinctly everywhere, it means that it doesn't exist a center or privileged place. In that sense, the place that the Earth occupies in the Universe is like any other, nothing special and much less related to the favor of an omnipotent God whose favorite creation is the human being. This being the case, it would then be feasible to think of the existence of many other planets that, like Earth, harbor life and support civilizations as or more advanced as ours. However, why haven't we contact with other civilizations? That is known like the Fermi's Paradox. If the Earth is only a dot in the Universe why we can't find others "Earths" and other intelligent beings to contact with? One possible solution that we are trying to discuss in this text is the Rare Earth Hypothesis, according to which, indeed, planet Earth is an extraordinary thing in the universe. Beyond discussing the plausibility of this hypothesis compared to others, it is our interest to point out some corollaries that follow from this, and its implication for the copernicianism from a philosophical point of view.

Keywords: Gaia; Copernican humility; Earth; life; Fermi's Paradox.

EL CARDENAL MUY VIEJO (rechazándolo, a Galilei). —Usted quiere degradar a la tierra, a pesar de que viva sobre ella y que de ella todo lo recibe. Usted ensucia su propio nido! Ah, pero no lo voy a consentir! (Deja a un lado al monje y comienza a pasearse con orgullo.) Yo no soy un ser cualquiera que habita un astro cualquiera que da vueltas por algún tiempo. Yo camino sobre la tierra firme, con pasos seguros. Ella está inmóvil, ella es el centro del Todo y yo estoy en su centro y el ojo del Creador reposa en mí, solamente en mí, giran, sujetas en ocho esferas de cristal, las estrellas fijas y el poderoso Sol que ha sido creado para iluminar a mi alrededor. Y también a mí, para que Dios me vea. Así viene a parar todo sobre mí, visible e irrefutable, sobre el hombre, el esfuerzo divino, la criatura en el medio, la viva imagen de Dios, imperecedera y... (Se desploma.)

Bertholt Brecht, *Galileo Galilei*

1. Introducción

El esquema aristotélico-ptolemáico del universo pone a la Tierra en el centro del cosmos: el plan exacto en los cielos refleja el plan preciso de Dios para la humanidad; incluso los erráticos planetas, en tanto alejados del Primer Motor, fueron *diseñados* para mostrar su movimiento errático. En concordancia con la teología cristiana, la tierra es lugar de mutación y corrupción, los cielos son bien ordenados e inmutables, y los planetas cercanos a la Tierra ocupan un lugar intermedio.

Con Copérnico (y quizás con Nicolás de Cusa 1985), la visión del cosmos cambia tanto en lo astronómico como en lo filosófico: el universo no es regido por causas finales, la materia es igual en todas partes, y, lo que es más importante, la Tierra no es el centro del universo. El cómodo antropocentrismo medieval se ve amenazado (cfr. Primavesi 2003 20) por lo que Yirmiyahu Yovel, en referencia a Spinoza, llama la "ilustración oscura": despertar al hecho de que el universo no ha sido diseñado para el gozo humano, y que es indiferente a nuestro comportamiento y destino (Yovel 1990 166); abrirse a la posibilidad de que el pretendido orden y

belleza del universo no son más que una superstición (Bruno 1981 52), de que la teleleología sea un error fuente de múltiples errores (Spinoza 1999 1ap).

Esto es lo que nosotros llamamos la *humildad copernicana*. Esta perspectiva tiene valor epistemológico y ético, nos recuerda que el mundo no tiene una estructura ni antropomórfica ni antropotélica, y que la perfección de las cosas no debe medirse según si agradan o no a nuestros prejuicios o a nuestros sentidos (Spinoza 1999 1ap).

El principio de mediocridad, un principio heurístico que asume que la humanidad no es nada extraordinario en el plan del universo, es un legado del copernicanismo. Manteniendo el principio de mediocridad, autores del siglo xvi y xvii como Bruno, De Bergerac, Huygens, Fontanelle y Leibniz concluyeron que existe con seguridad vida inteligente en otros planetas. Hoy, el campo de la astrobiología se enfrenta con la paradoja de Fermi, esto es, la falta de evidencia convincente de vida extraterrestre frente a su aparente alta probabilidad. En 1950, aplicando el principio de mediocridad, usando el conocimiento disponible y teniendo en cuenta 1) la enorme cantidad de estrellas y planetas en el universo, 2) la edad de la galaxia, 3) los procesos por los que evoluciona la vida y el tiempo que toma, y 4) los procesos por los que emerge la tecnología, Enrico Fermi calculó que los terrícolas tendrían que haber contactado con o detectado señales de vida extraterrestre desde hace mucho tiempo. ¿Dónde están los demás?

¿Qué pasa con la humildad copernicana a la luz de la paradoja de Fermi? ¿Se ve amenazada la ilustración oscura por el hecho de que, al parecer, estamos solos en el universo? Esta es la pregunta que exploramos en este texto a la luz de una posible solución a la paradoja de Fermi: la *hipótesis de la Tierra rara*, según la cual, en efecto, el planeta Tierra es una cosa extraordinaria en el universo.

El conocimiento científico adquirido después del cálculo de Fermi (como una mejor comprensión de la evolución prebiótica, el hallazgo de cientos de planetas extrasolares y el descubrimiento de extremófilos como el tardígrado, que puede sobrevivir en temperaturas muy altas y muy bajas, y en un rango muy amplio de condiciones químicas, cfr. Cavichiolli 2002) solo exacerba la paradoja (ver Ćirković 2009). Si el principio de mediocridad es científicamente válido y los planetas capaces

de sustentar la vida son el producto de un conjunto de leyes naturales, parece muy extraño, *por lo que sabemos*, que la Tierra sea el único planeta, entre un sinnúmero, habitado por formas complejas de vida. ¿Dónde están los demás?

"Por lo que sabemos": esta cláusula debe adjuntarse a toda afirmación sobre astrobiología, un campo del que no se conocen objetos. ¿Y si las formas de vida que no son basadas en carbón son posibles? ¿Y si es posible viajar a través de agujeros de gusano a velocidades más rápidas que la velocidad de la luz? ¿Y si las formas de vida alienígena son invisibles, angelicales o han subido su conciencia a una nube inmaterial? Nada puede decirse acera de tales posibilidades, excepto que muchas de ellas agudizan la paradoja de Fermi: si la vida es posible de más maneras de las que conocemos, y si hay más tecnologías posibles que las que podemos predecir, entonces también hay más posibilidades de vida inteligente detectable. ¿Dónde están los demás?

Muchas soluciones a la paradoja de Fermi han sido propuestas. Por ejemplo:

- Mientras que la vida extraterrestre es común en el universo, el contacto es mucho más difícil de lo asumido normalmente.
- Las formas de vida inteligente que desarrollan tecnologías complejas (que, por lo tanto, podríamos detectar, como las ondas de radio) tienden hacia la autodestrucción, por ejemplo, a través de la guerra nuclear.
- Por el contrario, las formas de vida inteligentes tienden a alcanzar también la sabiduría, y abandonan el desarrollo tecnológico y la exploración del espacio exterior en pro de una vida más sencilla y espiritual, haciéndose indetectables a larga distancia.
- Los extraterrestres han tomado medidas a fin de evitar el contacto con nosotros.
- La conciencia (y el subsiguiente desarrollo tecnológico) no son resultados comunes o típicos de la evolución, dado que la conciencia no es indispensable para sobrevivir (desde el punto de vista de la longevidad de la especie, los productos más exitosos de la evolución son animales como el tiburón, ver Bazzi 2021).

- Las ráfagas de rayos gamma producto de las explosiones periódicas de supernovas aniquilan civilizaciones frecuentemente, de modo que la vida es rara en el tiempo, mas no en el espacio (ver Ćirković 2009).

En este artículo vamos a examinar algunas implicaciones éticas y espirituales de una de las soluciones propuestas, la *hipótesis de la Tierra rara* (HTR). Esta hipótesis sostiene que, debido a que existe un número de factores que permiten la evolución de formas de vida complejas en un determinado planeta, la Tierra es en realidad un planeta bastante inusual. No vamos a examinar la plausibilidad de esta hipótesis frente a otras (lo que corresponde al campo de la astrobiología), sino algunos corolarios que se siguen de esta y lo que implicarían para el copernicanismo desde un punto de vista filosófico.

La HTR amenaza la humildad copernicana y el principio de mediocridad: la idea de que, en principio, si se observa un fenómeno cualquiera, es más probable que se parezca a la mayoría de los fenómenos del mismo tipo en lugar de ser una excepción. Si uno ve un escarabajo amarillo, uno imagina que los de su especie son amarillos también y no que uno se ha topado, justamente, con un ejemplar mutante de una raza de escarabajos azules. Aplicado a la Tierra, el principio de mediocridad produce la expectativa tanto de que se trata de un planeta común y corriente, como de que otros planetas sean capaces de albergar vida compleja. El hecho de que al parecer no sea así abre la puerta al retorno de una concepción teleológica y teológica del universo en la que la Tierra fue producida adrede por un creador (p. ej, Craig 1990).

Se propondrá que la HTR puede ser aceptada sin ir en contra de la humildad copernicana; por el contrario, a través de la HTR, la humildad copernicana se ve complementada por lo que llamaremos gratitud gaiana. En lo que sigue propondremos una explicación naturalista de los orígenes de la vida compleja en la Tierra que, sin embargo, permite considerar a la Tierra un milagro y un regalo, algo dado libremente que debe ser tratado con asombro y gratitud.

En lo que sigue, vamos a complementar la cosmovisión copernicana de la modernidad temprana, siendo este el momento en el que la cultura filosófica asimila el copernicanismo y sus implicaciones éticas y ontológicas. Para ello examinaremos

el trabajo de Giordano Bruno, Baruch Spinoza y, especialmente, el *Cosmotheoros* de Christiaan Huygens, el cual es posiblemente el primer texto de astrobiología científica (cfr. Bula 2011). Luego pasamos a explicar cómo, aún siendo la HTR un desafío a la humildad copernicana, puede no obstante coexistir con esta, complementada por la gratitud gaiana.

2. Tierra Copernicana

La Tierra, en el paradigma ptolemaico, no era un planeta. De hecho, era el único punto fijo en el universo, lo cual es completamente opuesto a ser un *planetes*, un "errante". No obstante, esto no confería un estatus de dignidad a la Tierra:

> [T]he central position was not the most honourable, but, on the contrary, the most unworthy. It was, in effect, the lowest, and consequently suited to the earth's imperfection. Perfection was located above, in the celestial vault […] whilst 'Hell' was deservedly placed beneath the surface of the earth. (Primavesi 2003 21)

De cualquiera manera, el estatus de la Tierra es único en este esquema; para bien o para mal, nuestro lugar en el mundo es central, especial y el foco de la mirada divina. Este esquema recuerda el egocentrismo adolescente, en el que juegan un papel importante la "fabula personal" (la idea de que se es único y especial) y el "auditorio imaginario" (la idea de que uno siempre está siendo observado y juzgado) (Harvey 2012). La superación del egocentrismo adolescente pasa por darse cuenta de que uno es "uno más": algo así intenta Christian Huygens, quien extrapola de la astronomía copernicana la idea de que la Tierra debe ser un planeta del montón, con características similares a todos los demás. Si Dios dio igual importancia a cada planeta, Él debió haberlos poblado con vida, belleza e inteligencia como el nuestro; y dado que los planetas son externamente similares, estos deben ser asimismo internamente similares:

> Having thus explained [the Copernican system], there's no body I suppose but, sees, that in the first the Earth is made to be of the same sort with the rest of the Planets […]. Now since in so many things they thus agree, what can be more probable that in others they agree too; and that the other Planets are as beautiful and as well stock'd with Inhabitants as the Earth? […]
>
> If anyone should be at the dissection of a Dog, and be there shewn the intrails, the Heart, the Stomach, Liver, Lungs and Guts […] could such a Man reasonably doubt whether there were the same Contexture and Variety of Parts in a Bullock, Hog, or any other Beast, tho he had never chanc'd to see the like opening of them? (Huygens 1698 17-18)

Para Spinoza, imaginar que nuestro mundo es el único es una ignorante estrechez de miras comparable con la de un pastor que, al ir a buscar a su vaca perdida, se sorprende de que haya campos y ríos más allá de sus tierras de pastoreo (Spinoza 1990 libro II 3, 2-3). Del mismo modo, Giordano Bruno considera que es imposible que un espíritu racional y despierto sea incapaz de imaginar muchos mundos aparte del nuestro y más magníficos (1981 135-136), y entender que nuestra Tierra es solo el centro de nuestro mundo, como la Luna sería para el de los selenitas (1981 91-92): el universo tiene infinitos centros, pues en una esfera infinita, el medio está en todas partes (1981 177; cfr. De Cusa 1985). Mientras que Huygens (como científico) parte del principio de mediocridad, Spinoza y Bruno parten del postulado filosófico del poder infinito de Dios: si la Tierra fuera el único mundo habitado, el poder creativo de Dios estaría inexplicablemente constreñido, limitado (Bruno 1981 73).

A partir de la infinita creatividad de Dios, Spinoza concluye que no hay una razón en concreto para que los humanos seamos como somos; somos simplemente una manifestación más del poder de Dios:

> Y a quienes preguntan: ¿por qué Dios no ha creado a todos los hombres de manera que se gobiernen por la sola guía de la razón? respondo sencillamente: porque no le ha faltado materia para crearlo todo, desde el más alto al más bajo

> grado de perfección; o, hablando con más propiedad, porque las leyes de su naturaleza han sido lo bastante amplias como para producir todo lo que puede ser concebido por un entendimiento infinito. (Spinoza 1999 1ap)

La perspectiva de Bruno, Huygens y Spinoza parece sana y consistente con la racionalidad moderna y el espíritu científico. Sin embargo, la anticipación de que sea fácil encontrar vida compleja en otros planetas (repetida por Fermi) se ha visto frustrada por la falta de evidencia empírica. ¿Dónde están los demás, dónde se han metido?

Una posibilidad es que la Tierra, después de todo, tenga algo de especial: que no sea un planeta como todos los demás sino una clase de cosa diferente, sui generis en nuestra vecindad galáctica, si bien no en el universo, y esto no por razones teológicas sino estrictamente científicas. ¿Qué tal que la Tierra, como totalidad, se comporte como un ser vivo? ¿Que la operación de los diferentes sistemas vivos que la componen formen un sistema de orden superior que permite la vida en la Tierra? Esta idea, la *hipótesis de Gaia* (Lovelock 1979), fue anticipada por Humboldt y Goethe (De Castro 2020 16) en el contexto del romanticismo alemán y el interés por la forma, los patrones en movimiento, de lo vivo. También fue anticipada por Bruno en el contexto renacentista de la exploración del infinito (ver De Cusa 1985): si el poder de Dios es infinito, nada puede ser menos de lo que podría ser: cada parte del universo, en cada escala, está dotada de vida. Para Bruno, la Tierra es un "animal divino" (Bruno 1981 174): sus arroyos, mares, montañas y valles corresponden a los huesos y arterias de un animal; sus tempestades y terremotos, a sus fiebres y resfriados. La Tierra de Bruno no es una masa estática, sino que tiene una vida que se lleva a cabo a través de intercambios materiales, de flujos y reflujos (lo que recuerda también los cuerpos compuestos de Spinoza, hechos más bien de procesos que de átomos; Spinoza 1999 2p13esc; Bula 2012): Bruno imagina la geofisiología que hoy autores como Volk (1998) llevan a cabo. Más adelante veremos qué tiene que ver la hipótesis de Gaia (HG) con la HTR, pero antes debemos completar el cuadro del universo tal como lo concebían los pensadores modernos a la luz del copernicanismo.

3. El universo copernicano: asombro y conocimiento

Para Huygens, el universo que describe el sistema copernicano (enorme, lleno de planetas semejantes a la Tierra) no pudo ser creado por Dios para el exclusivo beneficio humano, toda vez que existen muchísimas estrellas que nada tienen que ver con nosotros y enormes distancias en el espacio exterior:

> And these Men themselves can't but know in what sense it is that all things are said to be made for the use of Man, not certainly for us to stare or peep through a Telescope at; for that's little better than nonsense. Since then the greatest part of God's Creation, that innumerable multitude of Stars, is plac'd out of the reach of any man's Eye; and many of them, it' likely, of the best Glasses, so that they don't seem to belong to us; is it such an unreasonable Opinion, that there are some reasonable Creatures who see and admire those glorious Bodies at a nearer distance? (Huygens 1698 7-8)

No solo los planetas son infinitos, ellos contienen infinita biodiversidad (porque, existiendo muchos planetas como la Tierra, estos deben contener numerosos tipos de animales como en nuestro propio planeta) (Huygens 1698 35). Tanto para Huygens como para Bruno, la infinita bondad divina es concebida en términos de generosidad: un Dios que solo haya creado una Tierra es, para Bruno, miserable; por lo mismo, Huygens concibe infinitos planetas con seres dotados de sentidos como la vista o el oído y de razón. Spinoza es más escueto: "De la necesidad de la naturaleza divina deben seguirse infinitas cosas de infinitos modos (esto es, todo lo que puede caer bajo un entendimiento infinito)" (1999 1p16).

¿Qué debemos pensar o sentir ante la inmensidad, belleza y generosidad del universo? Para Bruno, esto debería conducir a la serenidad y a la contemplación: en un universo infinito, todo lo que sea posible se hará real, en algún momento y en algún lugar, por lo que nada debe sorprendernos, y todo bien y todo mal debe ser recibido con ecuanimidad (1981 56).

Huygens explica de forma similar el propósito moral de su *Cosmotheoros*:

> […] here we may mount from this dull Earth, and viewing it from on high, consider whether Nature has laid out all her cost and finery upon this small speck of Dirt. So, like Travellers into other distant Countrys, we shall be better able to judg of what's done at home, know how to make a true estimate of, and set its own value upon every thing. We shall be less apt to admire what this World calls great, shall nobly despise those Trifles the generality of Men set their Affections on, when we know that there are a multitude of such Earths inhabited and adorned as well as our own. And we shall worship and reverence that God […] and adore his Providence and wonderful Wisdom which is displayed and manifested all over the Universe […]. (1698 10-11)

Para Huygens, el propósito de la razón es el estudio de la obra de Dios:

> For without Knowledge what would be Contemplation? And what difference is there between a Man, who with careless supine negligence views the Beauty and use of the Sun, and the fine golden Furniture of the Heaven, and one who with learned Niceness searches into their Courses; who understands wherein the Fixt Stars, as they are call'd, differ from the Planets […]. Or between such and one as admires perhaps the nimble Activity and strange Motions of some Animals, and one that knows their whole Structure, understands the whole Fabrik and Architecture of their composition? (Huygens 1698 60-61)

Huygens distingue entre el asombro ocioso y la contemplación científica, y sugiere que esta última es el verdadero propósito de la razón humana: contemplar la obra divina. Su Dios magnánimo y generoso también tuvo que darle el regalo de la razón a los extraterrestres: "For supposing the Earth, as we did, one of the Planets of equal dignity and honor with the rest, who would Venture to say, that no where else were to be found any that enjoy'd the glorious sights of Nature's Opera?" (Huygens

1698 62). La opera, nacida en Italia en 1597, era para la época de Huygens una forma de arte 1) espectacular (pues combinaba en sí misma muchos artes) y 2) popular (en tanto se llevaba a cabo fuera de las cortes, sostenida por la venta de boletos). Es decir, la obra de Dios es el espectáculo más grandioso que hay y está disponible a todos. Ahora bien, para contemplarlo como se debe, hay que hacerlo científicamente.

¿En qué se diferencia la contemplación supina y floja del universo de un verdadero contemplar la "Ópera de la Naturaleza"? Huygens quiere hacer un contraste entre quien, en plan de ocio, mira las estrellas o mira una flor y se deja embelesar por alguna belleza superficial, por un lado, y quien aborda la naturaleza con espíritu científico, sistematizando sus observaciones y encuadrándolas en un marco más amplio de leyes naturales. Lo primero parece, a primera vista, más deseable (así hemos llegado a odiar el trabajo en nuestro tiempo moderno), pero quizás podemos imaginar lo que dice Huygens con el siguiente ejemplo: por un lado, un visitante a un parque natural que camina un par de horas en la selva se saca un par de fotos y dice que todo estuvo bonito, y, por otro lado, un visitante al mismo parque natural que conoce su biología y ecología, y puede observar, en su visita, un sinnúmero de detalles, particularidades, relaciones e instanciaciones de su saber ecológico: sin duda, la visita de la segunda persona es más rica y más plena. Otra forma de hacer esta distinción (añadiendo un término adicional) es acudir a la distinción que hace Spinoza (1999 2p40esc2) entre tres géneros de conocimiento: un primer género de conocimiento asociado directamente con la experiencia; un segundo género de conocimiento que se identifica con el conocimiento por deducción y en el que se incluye el científico (que asocia unos eventos con otros a través de leyes), y un tercer género de conocimiento: el racional de Dios, una visión sintética de la totalidad en cuanto totalidad (Yovel 1990).

Lo mismo que Huygens, Spinoza no tiene el asombro en alta estima. Para Spinoza, el asombro proviene de la ignorancia, y es un signo y una causa de debilidad. Es a través del asombro que los líderes religiosos tienen sometido al pueblo (cfr. Spinoza 2008 1ap):

Y de aquí proviene que quien investiga las verdaderas causas de los milagros, y procura, tocante a las cosas naturales, entenderlas como sabio, y no admirarlas

como necio, sea considerado hereje e impío, y proclamado tal por aquellos a quien el vulgo adora como intérpretes de la naturaleza y de los dioses. Porque ellos saben que, suprimida la ignorancia, se suprime la estúpida admiración, esto es, se les quita el único medio que tienen de argumentar y de preservar su autoridad.

¿Qué causa asombro? Mientras que la mente generalmente pasa del pensamiento de una cosa a la de otra a través de conexiones causales o imaginativas, una cosa que es única para una mente dada produce un estado de fijación porque el observador no conoce cómo aquello está conectado a otras cosas. Para que algo produzca asombro, debe ser concebido por la mente como *sui generis*, único en su clase (*cfr* 4p56esc2, 4ap Cap.4).

El asombro se opone al tercer tipo de conocimiento. Mientras que lo asombroso es una idea desconectada de otras, el tercer género de conocimiento es una poderosa síntesis de ideas en la que las cosas individuales son percibidas como conectadas a un orden amplio del universo y a la eterna necesidad de Dios. Es por esta vía que Spinoza plantea un tipo de salvación inmanente y de eternidad (ver Yovel 1990).

Para la modernidad temprana, el avance de la ciencia coincide con el retroceso del asombro y de la ignorancia. Mientras más sabemos, más normal nos parece todo, más regido por reglas que conocemos; conocer a Dios es conocer sus leyes: regulares, inmutables, indiferentes. Ahora bien, el conocimiento astronómico actual ha llevado a la comunidad científica a creer que la posibilidad de vida extraterrestre es abundante (si bien no está presente en todo el planeta, como creían Bruno y Huygens), cercana y detectable, lo que justifica su búsqueda. Hasta ahora, la búsqueda no ha dado resultados. La vida extraterrestre no es, por lo menos, tan abundante que sea fácil de encontrar, mucho menos la vida inteligente y capaz de contemplar la "Ópera de la Naturaleza", como pensaba Huygens. ¿La ausencia de vida extraterrestre amenaza la humildad copernicana, la mística racional espinozista, la idea de un Dios impersonal? ¿Hemos de retornar a la arrogancia precopernicana, y a sentirnos y actuar como si nosotros fuéramos el centro y propósito del universo? ¿Si la Tierra es, de hecho, única, entonces deberíamos evitar la contemplación racional del universo y maravillarnos de lo que parece ser un milagro que burla las leyes de la naturaleza, en lugar de ser la Tierra una instanciación de dichas leyes?

4. La tierra rara

La paradoja de Fermi pone en entredicho algunos de los supuestos más básicos del pensamiento científico moderno (Ćirković 2009 2). El hecho de que no hayamos encontrado vida extraterrestre cuestiona una o varias de las siguientes ideas: que la vida evoluciona naturalmente donde quiera que encuentre circunstancias favorables (naturalismo); que el cambio biológico y tecnológico ocurre gradual y continuamente en el tiempo (gradualismo); que la Tierra no es un lugar especial en el universo, sino que las leyes naturales son las mismas en cualquier parte (copernicanismo, principio de mediocridad). La paradoja de Fermi implica abandonar por lo menos uno de estos supuestos (ver Ćirković 2009). Si postulamos que la vida fue especialmente creada en la Tierra o que la Tierra es un planeta excepcional o que el proceso de evolución o el proceso de cambio tecnológico no ocurre de forma gradual en el tiempo (debido, por ejemplo, a eventos catastróficos como explosiones de supernova que pueden causar extinciones en masa), entonces la paradoja de Fermi se disuelve (ver Ćirković 2004). Una solución a la paradoja de Fermi, entonces, es que la Tierra no es un planeta ordinario, lo cual es conocido como la *hipótesis de la Tierra rara*.

Christian Huygens se refiere a la Tierra como una "pequeña mota de polvo", un ordinario y diminuto planeta. Si, por el contrario, la Tierra es un lugar especial, se le puede ver como un tipo de cosa diferente a los demás planetas que conocemos: nuestra atmósfera contiene gases que son altamente reactivos entre sí (como el oxígeno y el metano) que coexistien en altas proporciones, lejos del equilibrio químico (Capra 1996 101). Tal configuración atmosférica es el resultado de, y la condición para, que haya seres vivos. Procesos como la respiración animal y la fotosíntesis de las plantas mantienen la composición atmosférica que la vida necesita para florecer. La Tierra es entonces un sistema autopoiético y homeostático: un planeta vivo.

La *hipótesis de Gaia*, la idea de que la Tierra es un planeta vivo, se la debemos a James Lovelock (1979): de aquí ha nacido la *geofisiología*, el estudio de los ciclos vitales de este superorganismo, de este animal de segundo orden: por ejemplo, analizar los ciclos anuales que gobiernan los niveles de dióxido de carbono o el papel de las bacterias en la fijación de nitrógeno, clave para reciclar algunos elementos clave en

el sistema-Tierra (ver Volk 1998). El sistema-Tierra, como totalidad, es producto de largos procesos de *coevolución*, de ajustes de las partes entre sí y al entorno a lo largo del tiempo (ver Volk 1998 ix). A través de la coevolución, la Tierra gana *historicidad*, tiene una biografía que pesa en su presente: si un asteroide de cierto tamaño golpea a Marte, deja a lo sumo un cráter, pero el golpe de un asteroide en la Tierra produce un cambio en la clase de animal (mamífero o dinosaurio) que es la especie dominante (Arz, Arenillas & Molina 2000). Desde este punto de vista, la Tierra no es solo un planeta más: astronómicamente, la Tierra es parecida a Marte o Venus, pero geofisiológicamente es distinta y única entre los planetas que conocemos.

Existe evidencia de vida microscópica en Marte y es probable que esta sea relativamente común en el universo, lo que es raro es que la vida extraterrestre sea lo suficientemente compleja y diversa como para que pueda regular la atmósfera de un planeta. Solo en un planeta como el de Gaia se podría sostener la vida el tiempo suficiente para que evolucione la vida inteligente (Watson 2004).

¿En qué clase de planeta puede prosperar un sistema de vida autorregulada? Según Ward y Brownlee (2000), un planeta tipo Gaia probablemente necesita, entre otras cosas, 1) estar en zona habitable, esto es, dentro de cierta distancia de su estrella de tal forma que no esté ni muy fría ni muy caliente; 2) tener una luna grande que pueda estabilizar los ejes del planeta, permitiendo estabilidad climática, y 3) cumplir las condiciones que requiere lo que en la Tierra fue la explosión cámbrica, esto es, las condiciones para una repentina diversificación y expansión de la vida como ocurrió en la Tierra. A esta lista podría sumarse la evolución de la fotosíntesis, que convierte a la estrella cercana en fuente de energía (Watson 2004). Si estas son condiciones *sine qua* non para la evolución de la vida compleja, entonces se puede argumentar que planetas tipo Gaia son poco probables y muy escasos en el universo. No se trata, solamente, de que surja la vida en forma primitiva, sino de que haya condiciones de permanencia en el tiempo, evolución y coevolución para que pueda emerger la vida compleja (Leduc 2009 124).

La hipótesis de la Tierra rara depende de postular que las posibilidades de que emerja vida compleja en un planeta dado son astronómicamente pequeñas (digamos 10-100). Ćirković (2009 10), siguiendo a Fry (1995), argumenta que tales condiciones hacen a la hipótesis insostenible:

> […] a curious situation arises in which an opponent can argue that supernatural origin of life is clearly a more plausible hypothesis! Namely, even a fervent atheist could not rationally claim that her probability of being wrong on this metaphysical issue is indeed smaller than 10-100, knowing what we know of the fallibility of human cognition. According to the dominant rules of inference, we would have been forced to accept the creationist position, if no other hypothesis were present.

El argumento es que la probabilidad de que los creacionistas estén equivocados es seguramente menor que 10^{-100}. Este argumento es falaz: la hipótesis de la Tierra rara no establece que planetas como Gaia sean extremadamente improbables *en el universo*. Más bien, afirma que es extremadamente improbable que un *planeta dado* sea del tipo *Gaia.* En la siguiente sección se expondrá en detalle la naturaleza de esta falacia: un evento extremadamente improbable en una *oportunidad dada* de hecho es necesario que ocurra si tiene una cantidad suficiente de oportunidades en las que puede ocurrir. Esto no viola el naturalismo, más bien es una consecuencia de la ley de los grandes números.

5. Milagros

En un fortuito mes de julio, la señora Joan Ginther, de Texas, ganó la lotería por cuarta vez (Hawley 2010): la probabilidad de que esto pase es de unos doscientos millones contra uno. Uno podría pensar (con buen fundamento) que ganar la lotería cuatro veces es milagroso, que Dios mira con especial beneplácito a la señora Ginther. Sin embargo, en este caso, el Dios de la fortuna no quiebra las leyes de la probabilidad sino que las confirma. Dado el número total de personas en el mundo que compran boletos de lotería y la cantidad de años que las loterías han estado en existencia, el que alguien alguna vez la ganara cuatro veces es prácticamente un hecho necesario, según las leyes de probabilidad. Ese alguien que ganó la lotería cuatro veces en su tiempo de vida es un evento muy afortunado, que esto le ocurra a una *persona específica* es extremadamente improbable.

La probabilidad de lanzar unos dados y sacar un par de unos es de 1/36 (1/6 x 1/6). Ahora bien, si alguien lanzara un par de dados cuarenta veces, sería muy extraño que en *una de las ocasiones* no sacara un par de unos. Sacar un par de unos cinco veces seguidas es un evento muy improbable; la probabilidad es menor a uno en seis millones: 1/60'466.176. Sin embargo, si se hicieran sesenta millones y medio de intentos, las leyes de probabilidad dictaminan que en algún momento (quizás al primer lance) obtendré este resultado: "an event with a low probability of occurrence in a small number of trials has a high probability of occurrence in a large number of trials" (Shermer 2004 32).

Por lo tanto, desde la perspectiva de una tercera persona, no debemos sorprendernos de que los milagros ocurran: si a una persona le cancelan la conferencia que iba a dar y esto impide que aborde el avión que se estrelló, es porque hay muchas conferencias y muchos vuelos que se estrellan; si una herencia llegó justo cuando alguien iba a perder su hogar, es porque en el mundo se emiten muchas herencias y mucha gente se cuelga en la hipoteca. Los eventos fortuitos y positivos altamente improbables (que comúnmente se entienden como milagros) tienen una explicación naturalista.

No obstante, regresemos a la señora Joan Ginther de Texas. ¿Debió asombrarse ella por su enorme fortuna? ¡Por supuesto! ¡Sus posibilidades de ganar ella la lotería eran extremadamente pequeñas! (lo necesario, naturalista y esperable es que alguien tuviera esa buena fortuna). Para Joan Ginther, los sentimientos de asombro y agradecimiento son completamente apropiados.

La ley de los grandes números nos proporciona una perspectiva doble respecto a los milagros. La perspectiva de la tercera persona explica cómo los milagros son una cosa esperable y consistente con la necesidad estadística, y tienen, por tanto, un origen natural y no requieren de una explicación sobrenatural. Sin embargo, la pregunta de a quién le ocurre el milagro es cosa aparte. Desde la perspectiva de primera persona, los milagros son ciertamente milagrosos y el individuo que recibe el milagro puede considerarse muy afortunado. Esto no requiere de una explicación teleológica (un Dios bajo cuya mirada estamos y que ha decidido que esto ha de pasar), pero puede seguir siendo adecuado tener una actitud de gratitud, incluso de gratitud religiosa.

Según la hipótesis de la Tierra rara, el hecho de que en *algún lugar* del universo haya vida compleja no es ni improbable ni un fenómeno que requiera de explicaciones teológicas o teleológicas; ahora bien, *que en un planeta dado* haya vida compleja es algo muy improbable. El universo es suficientemente grande y tiene un número suficiente de planetas para que la vida compleja ocurra en *alguna parte*. La Tierra ha sido un planeta extremadamente afortunado. Por lo tanto, los humanos somos testigos y protagonistas de un evento extremadamente improbable, por pura suerte.

¿Es decir que, por pura suerte, estamos justo en el planeta en el que la vida es posible? Esto parece una trampa en la argumentación, como decir que las pirámides de Centroamérica se produjeron por la caída fortuita de algunas piedras. Esta impresión se disipa si tenemos en cuenta la autoselección del observador (ver Watson 2004). La única forma en que se puede observar el universo es si un observador lo observa, pero un observador solo puede ocurrir precisamente en la parte extraña e improbable del universo en donde los observadores pueden evolucionar. Por ello, si hay un observador, este está observando, necesariamente, una parte del universo muy extraña e improbable. Es razonable suponer, *ceteris paribus*, que cualquier parte del universo que observe es típica (principio de mediocridad), pero también es cierto que hay eventos atípicos. En el caso de un planeta vivo como Gaia, la razón por la que puedo observarlo es *porque es un planeta atípico.*

Distinguiendo entre la perspectiva de primera persona y la de tercera persona sobre los hechos altamente improbables, queremos conservar la humildad copernicana que postula leyes naturales impersonales que no están enfocadas hacia nosotros, y, al mismo tiempo, sostiene que la vida en la Tierra puede ser concebida, legítimamente, como un milagro digno de asombro y gratitud. En palabras de Thomas Hardy, "Let me enjoy the earth no less / because the all-enacting Might / that fashioned forth its loveliness / had other aims than my delight" (1998 214). La Tierra viviente, en su improbabilidad, puede ser vista como un milagro. En lo que sigue exploraremos las implicaciones espirituales de tal milagro, comprendiendo la vida en la Tierra como un regalo, siguiendo a Anne Primavesi.

6. La vida como regalo

Supongamos que la hipótesis de la Tierra rara es correcta, esto es, que las posibilidades de que un planeta tipo Gaia acoja formas de vida inteligente es de 1 en 10-100. ¿Qué significado tiene que nuestro planeta esté vivo, si esto puede considerarse un milagro? La cuestión no es trivial:

> Being aware of the greater whole within which we live arouses feelings and emotional responses, such as Darwin's awe, Huxley's admiration as well as Volk's or Sagan's gratitude that are not anthropological curiosities but a necessary part of human reaction to the world. The emotional impact Nature makes on us is also a part of its meaning for us […] and meanings give things their value. (Primavesi 2003 124-125)

Según la hipótesis de la Tierra rara, somos el producto de una extraordinaria serie de eventos afortunados que hubieran podido salir de otro modo, de muchas maneras. Nada de lo que tuvo que pasar fue mérito nuestro: es un don dado, al parecer, sin que obligue a ningún tipo de pago. Primavesi (2003) nos invita a pensar en Gaia como si fuera un regalo, cuya preparación se llevó a cabo muchísimo tiempo antes de que llegáramos a existir:

> […] long before we emerged to do things to Gaia, Gaia was doing things for us: things that would prove essential for our eventual emergence as a species and for our lives here and now. The support systems essential for our survival evolved over deep time through the synchrony of favourable conditions within three critical parameters: water availability, temperature and nutrient supply. (124)

¿Cuál es la manera correcta de recibir un regalo? Un regalo, dado libremente, invita a la gratitud, la cual, a su vez, debe ser dada libremente, de lo contrario tenemos un intercambio, una transacción económica (Primavesi 2003 99).

Una vía para entender el don es contrastándolo con el comercio. Desde el punto de vista económico, dar algo gratuitamente es un sinsentido económico (Primavesi 2003 113). Examinemos la columna del conservador Terry Savage titulada There is no Free Lemonade, en la que nos cuenta cómo él y su hermano se toparon con tres niñas pequeñas que habían montado un pequeño puesto de limonada. Su hermano preguntó por el precio del producto:

> "Oh, no," they replied in unison, "they're all free!"
> I sat in the back seat in shock. Free? My brother questioned them again: "But you have to charge something? What should I pay for a lemonade? I'm really thirsty!"
> His fiancée smiled and commented, "Isn't that cute. They have the spirit of giving."
> […]
> "No!" I exclaimed from the back seat. "That's not the spirit of giving. You can only really give when you give something you own. They're giving away their parents' things -- the lemonade, cups, candy. It's not theirs to give." […]
> "You must charge something for the lemonade," I explained. "That's the whole point of a lemonade stand. You figure out your costs […] and then you charge a little more than what it costs you, so you can make money. Then you can buy more stuff, and make more lemonade, and sell it and make more money." (Savage 2010).

Ni Savage ni su hermano entienden lo que está pasando. Quien da un regalo no espera recibir un pago como individuo, más bien enriquece el sistema del que él o ella hace parte. Las niñas de la historia de Savage están haciendo la vida más agradable en su comunidad e invitan a los hermanos Savage a participar de este ejercicio. Además, la idea de ofrecer limonada gratis a extraños implica entender que estos también sienten sed. El intercambio de regalos presupone un sentido de pertenencia y de que dependemos de recursos comunes (Primavesi 2003 115). Esto se relaciona

con la conciencia de hacer parte de una totalidad. El regalo de Gaia nos hace conscientes de la gran historia de la cual hacemos parte, y del parentesco y dependencia que tenemos en tanto que terrestres.

Un cambio significativo en nuestra forma de vida, en relación con el ambiente, no vendrá sin un cambio de nuestras actitudes fundamentales hacia la Tierra. El azúcar, los limones, el agua, son dones gratuitos de la Tierra y convertirlos en mercancías trae sus consecuencias:

> […] if the gift aspect of our relationship with earth is ignored and the sources of what we receive go unrecognized, responses to the supply of vital components we receive are reduced to our saying […] 'It's mine!' We take those components and turn them into possessions; into commodities for cash profit. When this happens on a global scale, as it now does, we are in effect treating the earth as a possession to be traded for monetary advantage. This premise, and its conclusion, was expressed succinctly by an anonymous nineteenth century Native American:
> Only when the last tree has died and the last river has been poisoned and the last fish has been caught will we realize that we cannot eat money (Primavesi 2003 115).

Para Huygens, el tamaño y diversidad del universo da cuenta de la gloria del creador (Huygens 1698 11). En *Cosmotheoros*, la maravillosa diversidad de la Tierra es multiplicada en cada planeta y nosotros como observadores de esta gran ópera hemos de ver en esto una señal de la magnificencia divina. Pero si la Tierra es rara o única, nuestra reacción ha de ser un tanto diferente: la inmensa complejidad de la Tierra, su carácter vivo, se destaca sobre un fondo enorme pero inerte, un vecindario cósmico extraño, impresionante y estéril.

Si se acepta la hipótesis de la Tierra rara, el regalo que Huygens pensaba que fue dado al universo entero (los dones de la vida y la razón) resulta un don más bien exclusivo del que, da la casualidad, puede gozar el ser humano. El asombro reveren-

cial que produce la contemplación de la imponderable edad y las vastas distancias del universo se acopla, ahora, con un asombro reverencial por nuestra propia capacidad de contemplar lo primero.

Según Spinoza, nos asombramos ante un objeto que consideramos sui generis. Ahora bien, para Spinoza el asombro es una emoción pasiva, producto de nuestra ignorancia: el carácter de sui generis no viene del objeto contemplado, sino de nuestra ignorancia respecto a cómo entra dentro de la red de causas del universo: es el asombro del niño ante el truco del mago. Pero si la Tierra es un objeto escaso en el universo y único en nuestro vecindario galáctico, es posible tener ante ella un asombro activo producto de nuestro conocimiento: de lo que hace falta para que haya vida compleja en un planeta, de los múltiples bucles homeóstaticos de Gaia, de lo que es un superorganismo, de los otros planetas que conocemos y cómo decepcionan las expectativas copernicanas.

Para finalizar, podemos retomar los tres géneros del conocimiento. En principio, el milagro y el asombro hacen parte del primero de estos, pues no entiende las relaciones causales que generaron aquello que nos asombra. Pasar al segundo género de conocimiento implica conocer las causas y por ello mismo despojar de cualquier sorpresa o misticismo a aquello que en algún momento generó el asombro. No obstante, lograr comprender, en el caso de la hipótesis de la Tierra rara, la fina sincronía causal y lo inusual de su existencia nos lleva necesariamente al tercer género de conocimiento que eleva el asombro a la gratitud.

Trabajos Citados

Arz, José Antonio, Arenillas, Ignacio & Molina, Eustoquio. "El impacto de un asteroide en Yucatán y la gran extinción del límite Cretácico/Terciario". *Ciencia UANL* III.2 (2000): 154-159.

Bazzi, Mohamad. *100 million years of shark macroevolution.* Uppsala: Uppsala University, 2021. https://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1514605/FULLTEXT01.pdf

Brecht, Bertolt. *Vida de Galileo. Madre Coraje y sus hijos.* Madrid: Alianza, 2012.

Bruno, Giordano. *Sobre el infinito universo y los mundos.* Buenos Aires: Orbis, 1981.

Bula, Germán. "Cosmotheoros: Spiritual Corollaries to the Rare Earth Solution to Fermi's Paradox". *The Trumpeter* 27.3 (2011): 123-146.

_____. "Spinoza: empoderamiento y ética de la composición". *Universitas Philosophica* 58.29 (2012): 197-215.

Capra, Fritjof. *The web of life*. Londres: Harper Collins, 1996.

Cavicchioli, Ricardo. "Extremophiles and the Search for Extraterrestrial Life". *Astrobiology* 2.3 (2002): 281-292.

Ćirković, Milan M. "Cosmic Irony: SETI Optimism from Catastrophes?". *Contact in Context* 2.1 (2004): Pág-6.

_____. "Fermi's Paradox: The Last Challenge for Copernicanism?". *Serbian Astronomical Journal* 178 (2009): 1-20.

Craig, William Lane. "The Teleological Argument and the Anthropic Principle". *The Logic of Rational Theism: Exploratory Essays.* Ed. Mark S. McLeod. Nueva York: Edwin Mellen, 1990. 127-153.

De Castro, Carlos. *Reencontrando a Gaia.* Málaga: Del Genal. 2020. https://www.lanzarotebiosfera.org/wp-content/uploads/2020/06/REENCONTRANDO-A-GAIA_Difusion-Prologos.pdf

De Cusa, Nicolás. *La docta ignorancia.* Buenos Aires: Biblioteca de Iniciación Filosófica, 1985.

Hardy, Thomas. *Collected poems.* Londres: Penguin Books, 1998.

Harvey, Aimee Marie. "Adolescent Egocentrism and Psychosis". Tesis de doctorado: University of Birmingham, 2012. https://etheses.bham.ac.uk/id/eprint/3931/1/Harvey13PhD.pdf

Hawley, Garrett. "Joan Ginther Wins Lottery- Again". *Weekly World News*, 7 jul. 2010. <http://weeklyworldnews.com/headlines/18664/joan-ginther-wins-lottery-again/>

Huygens, Christian. *Cosmotheoros.* Londres: Timothy Childe, 1698. <http://www.phys.uu.nl/~huygens/cosmotheoros_en.htm>

Leduc, Timothy B. "Anne Primavesi: 2009. Gaia and Climate Change: a Theology of Gift Events". *Climatic Change* 95.1 (2009): 289-295. <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9608-0>

Lovelock, James. *Gaia: A New Look at Life on Earth.* Londres: Oxford University Press, 1979.

Primavesi, Anne. *Gaia's Gift.* Londres: Routledge, 2003.

Savage, Terry. "There is no Free Lemonade". *Chicago Sun Times*, *5* jul. 2010. <http://www.suntimes.com/business/savage/2464546,CST-NWS-savage05.savagearticle>

Shermer, Michael. "Miracle on Probability Street". *Scientific American*, 2004. 32.

Spinoza, Baruch. *Tratado breve.* Madrid: Alianza, 1990.

_____. *Ética*. Madrid, Alianza, 1999.

_____. *Tratado teológico-político.* Madrid: Alianza, 2008.

Volk, Tyler. *Gaia's body.* Nueva York: Springer-Verlag, 1998.

Ward, Peter D. & Brownlee, Donald. *Rare Earth: Why Complex Life is Uncommon in the Universe.* Nueva York: Springer-Verlag, 2000.

Watson, Andrew J. (2004). "Gaia and Observer Self-Selection". *Scientists Debate Gaia: The Next Century.* Eds. Stephen H. Scheider, James R. Miller, Eileen Crist & Penelope J. Boston. Cambridge, MA: MIT Press, 2004. 201-208.

Yovel, Yirmiyahu. "The Third Kind of Knowledge as Alternative Salvation". *Spinoza: Issues and directions.* Eds. Edwin Curley & Pierre-Françouis Moreau. Leiden: Brill, 1990. 157-175. <https://doi.org/10.1163/9789004246638_016>

Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia
Vol. 22 n.o 44 (2022): 35-57
ISSN: 0124-4620 (papel) & 2463-1159 (electrónico)

Fecha de recepción: 06/05/2021
Fecha de aprobación: 12/11/2021
Fecha de publicación: 29/06/2022
https://doi.org/10.18270/rcfc.v22i44.3518

Sobre la neutralidad epistémica del argumento del no milagro como inferencia a la mejor explicación*

On the Epistemic Neutrality of the No Miracle Argument as Inference to the Best Explanation

Juan Manuel Remesar
Universidad de Buenos Aires
Buenos Aires, Argentina.
remesarjuan@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-7928-1228

CC BY NC ND

RESUMEN

Uno de los argumentos que se han pronunciado en favor del realismo científico es el argumento del no milagro. En este artículo nos propondremos analizar su fuerza haciendo una revisión minuciosa de sus elementos y la conexión entre estos. Para realizar dicha tarea nos valdremos de la reconstrucción del argumento del no milagro como una inferencia a la mejor explicación realizada por Roberto Azar, entre otros, y concluiremos que la estructuración del argumento del no milagro con la forma de una inferencia a la mejor explicación no puede ser utilizada para apoyar el realismo más que el antirrealismo.

Palabras clave: realismo; debate, ciencia; filosofía, subdeterminación; instrumentalismo; argumento del no milagro.

* EEste artículo se debe citar: Remesar, Juan Manuel. "Sobre la neutralidad epistémica del argumento del no milagro como inferencia a la mejor explicación". *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia* 22.44 (2022): 35-57. *https://doi.org/10.18270/rcfc.v22i44.3518*

ABSTRACT

One of the arguments that have been made in favor of scientific realism is the no-miracle argument. In this article we will propose to analyze its strength by making a careful review of its elements, and the connection between them. To carry out this task we will use the reconstruction of the no-miracle argument as an inference to the best explanation made by Roberto Azar, among others, and we will conclude that the structuring of the no-miracle argument in the form of an inference to the best explanation does not it can be used to support realism rather than anti-realism.

Keywords: realism; debate; science; philosophy; underdetermination; instrumentalism; no-miracle argument.

1. Introducción

Hoy en día la discusión acerca de la verdad o verosimilitud de nuestras afirmaciones acerca del conocimiento fáctico podemos encontrarla en el marco de la filosofía de la ciencia. La cuestión aquí es: ¿las entidades postuladas por nuestras mejores teorías científicas son reales? A este respecto se ha distinguido entre términos que refieren a entidades observables y aquellos que refieren a entidades no observables, que llamaremos teóricos (Carnap 1985). En el primer grupo podemos hablar de entidades como piedras, muebles, perros, árboles, etc., objetos fácilmente perceptibles, tangibles, visibles, cuya existencia nadie pondría en duda desde el sentido común. En el segundo grupo hablamos de entidades como electrones, campos electromagnéticos, neutrinos, el inconsciente, las clases sociales, Alfa Centauri, la materia oscura, etc., objetos cuya observación o medición requiere un compromiso fuerte con teorías e instrumentos. Son estas últimas las que se encuentran en el foco de la discusión, tocando temas de carácter semántico, ontológico y epistémico. ¿Tienen valor de verdad las afirmaciones que contienen términos teóricos? ¿Son reales las entidades referidas por estos términos? ¿Podemos saber si nuestros términos teóricos refieren

exitosamente a esas entidades? Las posturas aquí son variadas; a groso modo dividiremos entre los realistas que, por un lado, afirman que las entidades postuladas por nuestras mejores teorías actuales existen (nivel ontológico), podemos conocerlas (nivel epistemológico) y, por lo tanto, son verdaderas o al menos aproximadamente verdaderas (nivel semántico). Por otro lado, están los antirrealistas, que niegan que esas preguntas se puedan responder en todos o algunos de esos niveles y, o bien suponen que los enunciados teóricos no refieren a nada y por lo tanto carecen de valor de verdad, ya que son meros instrumentos "de cálculo" para inferir enunciados observacionales a partir de otros enunciados observacionales, o bien suponen que los enunciados teóricos tienen valor de verdad pero que no hay buenos motivos para comprometerse con este. Dado esto último, dividiremos la postura de los antirrealistas en dos tipos: los instrumentalistas (Kukla 1998 3-11) y los antirrealistas "agnósticos", hablando metafóricamente.

Para apoyar tanto al realismo científico como al antirrealismo hay argumentos filosóficamente interesantes. Aquí mencionaremos tangencialmente el argumento antirrealista de la subdeterminación de las teorías por los datos y el argumento antirrealista de la metainducción pesimista, y analizaremos principalmente un argumento que se adjudica en favor del realismo: el argumento del no milagro (ANM), estructurado como una inferencia a la mejor explicación (IME). Pensamos con Azar (2020) y Gaeta (2008) que ANM-IME no es concluyente. Nos valdremos de sus respectivos aportes y ahondaremos en algunos aspectos que nos parece que no fueron tratados suficientemente por aquellos autores. Buscamos reforzar la postura según la cual el argumento ANM-IME debería quedar fuera del cuadrilátero en el debate hasta que estas críticas no sean superadas.

En la sección 2 describiremos y comentaremos la estructura del argumento del no milagro (ANM); en la sección 3 haremos lo mismo con el argumento de la inferencia a la mejor explicación (IME); luego, en la 4 mostraremos la reconstrucción de ANM bajo la forma de una IME hecha por Azar; y, finalmente, en la 5 enumeramos una serie de argumentos, entre ellos, por un lado, (b), (c) y (e), que ya fueron incluidos en los trabajos de Azar y Gaeta, y, por otro, (a), (d) y (f), que considero que no fueron tenidos en cuenta hasta ahora y podrían reforzar esta postura:

a. Las hipótesis postuladas no son explicaciones por sí mismas.
b. El lote de explicaciones está incompleto.
c. La selección parte de hipótesis indiscernibles por los datos.
d. Confusión entre nuestras convicciones y lo que es racionalmente aceptable.
e. Falacia de la frecuencia de base en la inferencia (semejante al argumento de la metainducción pesimista).
f. El problema de la ambigüedad de las explicaciones estadístico-inductivas.

Con este aporte concluiremos que el argumento no solo no es concluyente, sino que, de no ser mejorado, o bien no puede ser formulado como una IME, o bien, de ignorar esta primera consecuencia, ANM-IME puede apoyar tanto al realismo como al antirrealismo y, por lo tanto, dejaría de ser un argumento realista.

2. El argumento del no milagro

El argumento del no milagro (ANM) es uno de los principales argumentos utilizados por los realistas para defender su postura (Borge 2015). Planteado en su momento por Putnam (1975), y defendido por Borge (2016), Psillos (1999) y Lipton (1991), entre otros, puede resumirse de la siguiente manera: el éxito que se les atribuye a nuestras mejores teorías actuales, reflejado en sus capacidades predictivas y explicativas, no puede ser consecuencia del mero azar o de un milagro, por lo tanto, los términos postulados por ellas refieren exitosamente y los enunciados que las componen deben ser verdaderos o al menos aproximadamente verdaderos:

> Podemos asegurar que el argumento del no milagro (ANM), si bien motivado por una vieja intuición, tiene su fecha de nacimiento en 1975, cuando Putnam sostuvo que "el realismo es la única filosofía que no hace del éxito de la ciencia un milagro" (1975, 73). El razonamiento comienza con una premisa ampliamente aceptada tanto por realistas como por antirrealistas: "la ciencia es exitosa". En efecto, nuestras mejores teorías actuales permiten no solo brindar

> explicaciones correctas, sino también generar predicciones y retrodicciones con una asombrosa precisión. ¿Cuál es la mejor explicación de ese éxito? (Azar 2020 71, *Putnam 1975 es citado por Azar*)

Este argumento funciona bajo la suposición de que (1) el éxito de las teorías indica su valor de verdad, (2) cualquier otra explicación del éxito de las teorías hace de este un milagro o algo igualmente inverosímil. Dicho argumento es bastante plausible de sostener ante un antirrealista escéptico que se negase incluso a aceptar que existen regularidades en el universo (Popper 2013 146), pero aquí el debate es contra los instrumentalistas y los convencionalistas como los que critica Popper en *Realism and the aim of science* (2013 107-112). Allí Popper nos habla de Mach, Duhem, Schlik y Poincaré, para quienes las teorías serían meros instrumentos, o quizás convenciones, que no nos hablan del mundo, sino que solo nos sirven para "calcular" y obtener predicciones a partir de los datos que les procesemos. En ese sentido, las teorías no son ni verdaderas ni falsas, pues los instrumentos no tienen valor de verdad, en todo caso son útiles o inútiles. Anexado a esto, podríamos decir que un antirrealista podría encontrar la razón del éxito de la ciencia en algún proceso biológico evolutivo, como conjeturan Popper y Van Fraassen (Lyons 2003), pero, sin embargo, rechazar que eso tenga algo que ver necesariamente con la atinencia de nuestro conocimiento científico o que de eso se pueda desprender que nuestras teorías son verdaderas ¿Qué nos aseguraría que nuestro conocimiento teórico es verdadero? ¿Es necesario o ha sido necesario en el pasado que el conocimiento teórico sea verdadero para que la ciencia tenga éxito? En este nivel se pone en cuestión nuestro conocimiento tanto de los objetos corrientes como de las entidades teóricas, pero eso no impide al antirrealista entender el estado actual de la ciencia, y su éxito explicativo y predictivo (Van Fraassen 1980; Popper 1995a, 1995b).[1]

[1] Cabe aclarar que Popper no es un antirrealista, pero su posición se encuentra en un "ni" bien fundado entre que las teorías y nuestro conocimiento cotidiano son producto de convenciones cuyo fundamento se encarna en alguna disposición evolutiva, y que, si bien tienen valor de verdad, nunca lo conoceremos. Sin embargo, su posición no es objeto de este trabajo.

3. Estructura de la inferencia a la mejor explicación (IME)

No necesariamente identificada con la forma del argumento del no milagro, la inferencia a la mejor explicación (IME) es un tipo especial de inferencia, para muchos identificada con los razonamientos abductivos (Azar 2020) que, según algunos, utilizan los científicos a la hora de dar cuenta de un hecho intrigante. Es decir, en principio este concepto fue acuñado para describir el procedimiento inferencial utilizado por los científicos en la práctica para explicar cuestiones fácticas. Este procedimiento puede ser descrito de la siguiente manera:

Dados nuestros datos y nuestras creencias de fondo, inferimos la explicación que, si fuera verdadera, proporcionaría la mejor de las explicaciones en competencia que podamos generar de esos datos (siempre y cuando la mejor sea suficientemente buena para nosotros como para realizar alguna inferencia). (Lipton 1991 58)

La idea de que "inferimos la explicación que proporcionaría la mejor de las explicaciones en competencia" supone que previamente contamos con un lote de explicaciones posibles para el fenómeno en cuestión y que mediante la IME seleccionamos aquella que se adecua mejor (Azar 2017). Dicha valoración como "la mejor" supone ciertos criterios que Azar ha enumerado prolijamente en su trabajo del 2020. Me atrevo a decir que estos criterios se pueden separar entre aquellos que se alinean sobre lo "razonable" y aquellos que están del lado de lo "psicológicamente persuasivo".[2]

Los criterios razonables (objetivo) son:[3]

1. *Testeabilidad*: capacidad de poseer mayor cantidad de consecuencias observacionales; y comprehensión: capacidad de explicar mayor cantidad de tipos de fenómenos.

---

[2] La fundamentación de esta distinción se encuentra unas líneas más abajo.

[3] La distinción "valores" razonables-objetivos/psicológicos-subjetivos es de mi autoría y será crucial para el argumento (d). Supone la distinción de Reichenbach y Popper en la filosofía de la ciencia entre la lógica del conocimiento y la psicología del conocimiento.

2. *Coherencia con el conocimiento de fondo*: capacidad de adecuarse al conjunto de conocimientos previos; y conservadurismo: capacidad de exigir menos cambios en la cosmovisión de la comunidad científica.
3. *Independencia o carencia de carácter ad hoc*: capacidad de poseer apoyo teórico y apoyo empírico independiente.

Los criterios persuasivos (subjetivo) son:

4. *Plausibilidad intrínseca*: capacidad de ser admitidas como buenas explicaciones[4] (sin efectuar la comparación con sus rivales).
5. *Simplicidad*: principio de parsimonia. Si todas las demás características se mantienen en pie de igualdad, debemos elegir la hipótesis más simple (Hempel 1982, 67-74).
6. *Loveliness*: capacidad de proporcionar la mayor comprensión potencial de los fenómenos bajo escrutinio (Lipton 1991).

La distinción razonable/persuasivo apunta al hecho de que es posible llegar a un consenso en torno a los primeros, más con los segundos el acuerdo no será tan fácil y dependerá de factores marcadamente psicológicos. En torno a los criterios que hemos destacado como "razonables", como la capacidad de una teoría o hipótesis de poseer mayor cantidad y variedad de consecuencias observacionales, la compatibilidad de sus elementos con elementos de otras teorías, hipótesis o cosmovisiones, y el hecho de que sea deducible de otros enunciados aceptados previamente en el marco de otras teorías, se remite a cuestiones lógicas y podríamos decir que pertenece al campo de la lógica del conocimiento. Si bien es posible encontrarle intersticios subjetivos al asunto o dependientes de cuestiones relativas al estado del conocimiento de

[4] Azar enumera una serie de "virtudes epistémicas" que se tienen en cuenta a la hora de evaluar si adoptar una "hipótesis" o "teoría" como explicación de algo (sea una cuestión empírica o una cuestión filosófica). En ese sentido, cada una de estas virtudes debe ser entendida como un aspecto a valorar sobre una determinada "tesis" o "teoría".

la comunidad científica al momento de la valoración teórica, podemos hablar de un tablero de juego común, con reglas comunes, donde prima la "intersubjetividad" a la hora de debatir y no hay dependencia de valoraciones personales significativas o juicios de valor apreciativos. Por otro lado, los criterios demarcados como "persuasivos" son relativos al sujeto y sus valoraciones personales. El hecho de que una teoría o hipótesis sea admitida como una buena explicación, la sensación de que proporcione una mayor comprensión o la creencia en torno a su carácter simple o complicado es algo plenamente dependiente de las consideraciones del sujeto.[5] Aquí priman los fenómenos psicológicos, lejos de caer sobre lo que podríamos llamar "lógica del conocimiento". Una comunidad de científicos podría disentir en torno a estos últimos criterios, mas no sobre los que hemos demarcado como razonables.

Volviendo a la inferencia a la mejor explicación junto con sus criterios valorativos, permítanme ilustrarlo con un ejemplo algo tonto y caricaturesco para ver cómo funciona desde lo cotidiano: imaginemos que estamos cocinando arroz en una olla y cada tanto lo revolvemos con una cuchara. Especulamos que internamente la cuchara está hecha de metal debido a su firmeza y a la continuidad visible entre el mango de plástico con el metal. De repente suena el teléfono, nos vamos a atender la llamada lejos de la cocina y nos olvidamos la cuchara apoyada en la olla. Al teléfono hablamos con un conocido sobre la película Matrix que vimos la noche anterior, en esa conversación charlamos sobre el niño que dobla con su mente una cuchara. Al volver tomamos la cuchara para revolver y de repente ¡sorpresa! la cuchara se dobla. Inmediatamente nos encontramos ante un hecho intrigante: explicación A, algún relato basado en Matrix donde la realidad en la que creemos vivir es una simulación y las leyes de la física pueden ser violadas completamente; explicación B, el mango

[5] Quizá el carácter psicológico o subjetivo del valor de "simplicidad" pueda presentar dudas: por un lado, no es de común acuerdo que la verdad fuera de la mano con la simplicidad, la estructura del mundo quizá sea la más complicada de todas las posibles o no sea la más simple; por otro lado, en caso de ser la más simple y, por ende, suponiendo que la teoría con la estructura más simple debería ser la correcta, no queda claro cómo debe ser entendida tal simplicidad. A este respecto, recomiendo ampliamente el apartado 4 del capítulo 4 de *Filosofía de la ciencia natural de Hempel* (1982).

de la cuchara está hecho todo de plástico y con el calor de la olla se dilató, cuestión compatible con nuestros conocimientos de fondo, aunque incompatible con nuestras especulaciones previas sobre el mango de la cuchara. Esta última explicación, la B, termina siendo la que porta más loveliness pues sentimos que nos proporciona mayor comprensión del fenómeno, es compatible con la mayoría de nuestros conocimientos de fondo, es la que menos nos obliga a modificar nuestros compromisos pasados, y los elementos que la componen ya han sido testeados y, por lo tanto, creemos que son testeables, etc. Por lo tanto, inferimos que la explicación B es verdadera. Hemos realizado una IME.

A partir de los elementos que distingue Roberto Azar para este tipo de inferencia, basado en la teorización que hace Peter Lipton sobre la IME, podemos distinguir la siguiente estructura:

> *Premisa 1*: enunciado que describe el evento intrigante a explicar.
> *Premisa 2*: enunciados que describen los elementos que conforman el lote de explicaciones potenciales rivales en torno al evento intrigante.
> *Premisa 3*: enunciados valorativos según los cuales una de las explicaciones de 2 es mejor que el resto.
>
> ---
>
> *Conclusión*: enunciado que predica la verdad o verdad aproximada de la explicación seleccionada en la premisa 3.

Falta ahora ver cómo el argumento del no milagro se adecúa a esta estructura perteneciente a la inferencia a la mejor explicación.

4. Estructura del argumento del no milagro como una forma de IME

Para analizar el argumento del no milagro es necesario acomodarlo a una estructura inferencial clara. Hay varias reconstrucciones, nosotros utilizaremos la realizada por

Roberto Azar dado que nos parece la más adecuada y exhaustiva. Azar reconstruye el argumento del no milagro (ANM) según la visión liptoniana de la inferencia a la mejor explicación (IME) (Azar 2017, 2020).

> (1) *Evidencia intrigante*: las teorías científicas actuales cuentan con éxito explicativo y predictivo.
> (2) *Lote creado de hipótesis potenciales*: hay diferentes hipótesis que, si fueran verdaderas, explicarían (1), las cuales son: H1 "las teorías científicas actuales son verdaderas o aproximadamente verdaderas, de modo que sus términos teóricos centrales refieren a entidades inobservables que existen efectivamente en la realidad" y H2 "las teorías científicas actuales no son verdaderas ni se aproximan a la verdad, pero casualmente todas ellas gozan de éxito predictivo y explicativo".
> (3) *Hipótesis más plausible según criterios liptonianos*: H1 explica (1) mejor que H2 y que cualquier otra hipótesis disponible.
>
> ---
>
> *(∴) H1 es verdadera.*

El argumento del no milagro ya no es una IME aplicada a cuestiones fácticas, sino que es un argumento en un metanivel. Aquí se discute una cuestión filosófica que no puede dirimirse por la experiencia, sino que precisamos de una argumentación filosófica razonable o persuasiva y ese es el juego que jugamos a la hora de discutir en este debate. En cuanto a los elementos, notemos que (1) es algo que dan por sentado tanto realistas como antirrealistas y por eso Azar identifica (1) con el evento intrigante.[6] En (2) se describe la esencia del realismo y del antirrealismo científicos como las hipótesis del lote de explicaciones para dar cuenta de (1), aunque sin dar lugar al antirrealismo "agnóstico". Tampoco se ha integrado referencia alguna a la

[6] Es sabido que la noción de explicación que pudiera aceptar un antirrealista no es la misma que manejan los realistas (Spehrs 2001).

noción de milagro, suponemos que va asociado implícitamente con la idea de que H2 antirrealista no es viable, cuestión implícita en (2) con la idea de que para el antirrealista el éxito de las teorías es consecuencia de la casualidad. En (3) se selecciona la H1 (hipótesis realista) como la mejor. Como aquí la cuestión no es empírica, solo contamos con los criterios valorativos liptonianos para determinar qué "hipótesis" explica mejor (1).

Podría evitarse la dependencia a los criterios liptonianos si la estructura del razonamiento fuera válida, caso en el que bastaría tan solo con acordar sobre sus premisas. Hay quienes han intentado reconstruir el argumento en cuestión como uno deductivo, por ejemplo, Musgrave (1988 229-252). Su estrategia consistió en agregar una premisa a IME que se hallaría implícita cada vez que utilizamos ese tipo de inferencia. Esta premisa conecta la consideración de una hipótesis como la mejor con la razonabilidad para aceptarla como verdadera. De tal forma se hace necesario aceptar la mejor como la verdadera. Veamos:

> (1') Si una hipótesis H es la mejor explicación para un hecho e, entonces es razonable aceptar H como verdadera.
> (2') El realismo científico constituye la mejor explicación del éxito de la ciencia.
> (3') Por lo tanto, es razonable aceptar el realismo científico.

Puede argumentarse que dichos intentos no resultan exitosos (e.g. Gaeta 2008 393). La introducción de la premisa (1') equivale a creer que la inferencia a la mejor explicación es legítima, que el éxito está conectado con la verdad bilateralmente. Es claro que si uno acepta (1'), el argumento es deductivo, pero ¿qué razón tenemos para aceptar (1')? Parece ilegitimo dado que con este argumento se pretende demostrar algo que no se sabe con anterioridad, es decir que se busca que tenga un valor ampliativo (Dellsén 2015 217-237). Esta propiedad puede encontrarse en un razonamiento abductivo o uno inductivo y no en uno deductivo cuya conclusión no va más allá de las premisas (Psillos 2002, 2007).

Descartando la posibilidad de estructurarlo como un argumento deductivo a la forma de Musgrave, nos quedaremos con el esquema dado por Azar, tomando ANM como una forma de IME en un sentido abductivo. Ahora que lo tenemos claramente estructurado, podemos analizarlo. ¿Es realmente un buen argumento realista?

5. Análisis de los elementos del argumento ANM-IME

En lo que sigue veremos las críticas aducidas al argumento, distinguiendo oportunamente a qué parte de este argumento. Como ya hemos adelantado, (b), (c) y (e) fueron tenidas en cuenta por Azar y Gaeta, y (a), (d) y (f) son el aporte que pretendo dar en este artículo. Partimos de la base de que no hay duda del (1) éxito de nuestras teorías. Ahora bien, ¿son el realismo y el antirrealismo por sí mismos explicaciones de (1)? ¿Se pueden adoptar dichas posturas como respuesta al problema sobre el éxito de nuestras teorías? Veremos cómo a partir de las críticas la respuesta debería darse por la negativa.

a) *Las hipótesis en 2 no son explicaciones por sí mismas*: mientras que la intuición realista puede surgir como consecuencia de ese éxito, el antirrealismo puede ser consecuencia de una actitud falibilista resultado de un análisis metodológico de la práctica científica. Dadas las consideraciones de Popper contra la posibilidad de verificar o confirmar los conocimientos, nunca podremos saber si nuestras teorías son verdaderas efectivamente por más de que hayan quedado corroboradas hace tiempo (Popper 1980). Retóricamente el argumento ANM-IME tiene una fortaleza y es que así como está planteado el antirrealismo es un mero muñeco de paja, dado que la postura realista surge oportunamente como una intuición acerca del evento intrigante, el éxito, y en cambio la postura antirrealista responde a ciertos problemas epistemológicos y metodológicos sin tener como centro el problema del éxito en su planteo. Sin embargo, de hecho, ni el realismo ni el antirrealismo así planteados sirven para explicar este éxito. La intuición realista de que él éxito de la ciencia es un indicador fiable de la verdad de los enunciados teóricos que conforman las teorías científicas solo desplaza el problema, dejando sin responder la pregunta relevan-

te: ¿cómo explica el realista la capacidad de la comunidad científica para llegar a enunciados teóricos verdaderos? En todo caso tal explicación nos diría cómo llega la comunidad científica a enunciados teóricos actualmente exitosos, hecho con el que nadie dudaba. Suponemos que tal explicación debería ser compatible con posturas no realistas, quienes también se enfrentarían a tal desafío. Sin embargo, tal como está planteado el argumento ANM-IME, ninguna de las dos posturas nos ha brindado tal explicación,[7] se podría decir que fallan en relación con el "requisito de relevancia explicativa" de Hempel (1982). Lo que los filósofos de la ciencia debieran darnos son argumentos que expliquen cómo esas supuestas hipótesis se conectan con el éxito de nuestras teorías, haciendo alusión a nuestras facultades epistémicas, al método científico, a la historia, etc. Por lo tanto, ni H1 ni H2 pueden ser entendidas como explicaciones por sí mismas, sino como conjeturas asociadas a explicaciones aun no brindadas.[8] Decir que son explicaciones por sí mismas tendría sentido desde un uso metafórico de la palabra "explicación".

b) *El lote de explicaciones en 2 está incompleto*: incluso si tomáramos estas posturas como "explicaciones" reales para dar cuenta del éxito (1), renunciando al argumento según el cual las supuestas explicaciones dadas están incompletas, podríamos usar el argumento del mal lote de Van Fraassen:

> [IME] es una regla que solo selecciona la mejor entre las hipótesis históricamente dadas. No podemos ver ninguna disputa de las teorías que nos hemos

---

[7] Lyons (2003) ha sabido analizar los intentos tanto de los realistas como de los antirrealistas por explicar el éxito de la ciencia, concluyendo que ninguna de sus explicaciones ha sido satisfactoria hasta el momento. Por su parte, Frost-Arnold (2010 35-85) ha mostrado cómo la formulación del realismo presente en ANM no puede tomarse como una explicación satisfactoria.

[8] Es posible encontrar esta idea de "explicación incompleta" en torno al argumento IME y el debate en torno al realismo en Dellsén (2015 217-237). Sin embargo, aquí tomaremos la intuición manejada por Hempel en torno al requisito de "relevancia explicativa", donde una explicación es una genuina explicación si el explanans, de ser verdadero, nos lleva a pensar que el fenómeno descrito en el explanandum tiene o ha tenido lugar (Gaeta 1996).

> esforzado tan penosamente por formular, con aquellas que nadie ha propuesto. Así que nuestra selección puede ser la mejor de muchas malas. (1989 143)

Es decir, que ese mismo lote de explicaciones está incompleto y que la "explicación" verdadera, o postura más razonable, ha quedado fuera de 2, y por lo tanto en la fase selectiva nunca daremos con la explicación verdadera o postura más razonable.[9]

c) *La selección en 3 parte de hipótesis indiscernibles*:[10] sea que tomemos las "hipótesis" dadas en 2 como están, sea que las completemos con las infinitas variantes explicativas posibles que conectan esas hipótesis con el evento intrigante, nos encontramos con múltiples hipótesis igualmente apoyadas por dicho evento, lo cual nos lleva al problema de la subdeterminación de las teorías por los datos (Quine 2001).[11] Como supuestamente todas explican exitosamente el evento intrigante, no hay ningún elemento de prueba o razón para dirimir entre estas rivales:

---

[9] He agregado la idea de "postura razonable" porque creo que hablar de "verdad" o "falsedad" respecto de un debate metacientífico es problemático y conlleva compromisos con supuestos que inclinan la balanza para uno de los lados, pudiendo viciar la discusión. Por otro lado, en lo referente al mal lote, uno podría decir que, de hecho, el antirrealismo "agnóstico" no ha sido mencionado. Sin embargo, tal posición no parece ser una explicación del éxito de las teorías, sino una postura respecto al problema de tomar posición sobre el asunto.

[10] Es importante notar que estaremos haciendo referencia al argumento de la subdeterminación en un nivel metateórico, es decir que aquello entendido como "los datos" subdeterminados será aquí el éxito de la ciencia. Con este movimiento buscamos hacer lo mismo que se ha hecho con ANMIME, que ha puesto al nivel del "evento intrigante" el éxito. Aclaramos esto porque el argumento de la subdeterminación suele entenderse con un argumento antirealista en el primer nivel, donde los datos son los datos empíricos y no el éxito, y las teorías subdeterminadas son las teorías científicas y no las teorías filosóficas.

[11] Es común, debido al estilo de Quine, creer que la tesis de la subdeterminación de las teorías se identifica con la tesis holista Duhem-Quine. Avisamos al lector que este es un tema en discusión bien tratado por Gentile (2008) en *Acerca de la consistencia de la doctrina de Quine*. En principio debemos remarcar que la tesis holista y la tesis de la subdeterminación no son lo mismo. En un artículo de 1975 Quine (2001 55) dice: "Esta doctrina de la subdeterminación no debe confundirse con el Holismo".

> La subdeterminación dice que, para cualquier formulación de una teoría, existe otra que es empíricamente equivalente, pero lógicamente incompatible con ella y que no puede convertirse en lógicamente equivalente a ella mediante ninguna reconstrucción de sus predicados. (Quine 2001 66)

Por esta línea, en un metanivel podríamos decir que para el ANM-IME realista que determina el realismo como la mejor explicación del éxito de la ciencia por la intuición realista hay una ANM-IME' que determina que la mejor explicación del éxito de la ciencia va por una vía antirrealista debido a los problemas gnoseológicos y metodológicos que, de no tenerse en cuenta, nos llevarían a una posición que hace del aprendizaje de nuestro entorno un milagro inductivista.[12] Esto es así dada la idea generalmente aceptada de que no existen métodos para descubrir nuevos conocimientos de forma efectiva y, a su vez, la opinión según la cual no es posible verificar o confirmar conocimientos, es decir, que no podemos saber en un sentido absoluto o parcial si los enunciados que conforman una teoría son verdaderos. Creer en semejante "milagro inductivista" supondría descartar tales ideas y habilitar una especie de inductivismo ingenuo.

Por último, la subdeterminación desliga la conexión entre verdad y éxito teórico, ya que postula la conjetura irrefutable[13] de que hay múltiples opciones con éxito explicativo y predictivo para una misma colección de enunciados descriptivos (bastaría con que haya más de una). En este sentido, el realista no tiene criterios objetivos para determinar que H1 es verdadera dado que otras hipótesis posibles expli-

[12] Podría creerse aquí que estamos pensando con Fine (Dellsén 2015 217-237) que, para toda explicación realista, existe una explicación instrumentalista mejor que hace a la primera falsa. Sin embargo, no es nuestra línea, estamos más bien del lado de los que creen que el asunto es indiscernible.

[13] Entendemos que la caracterización de "conjetura irrefutable" es una cuestión contingente. Quizá fuera posible que acaso llegue el día en que la cuestión pueda ser dirimida empíricamente. Por el momento, dadas las condiciones epistémicas en las que nos encontramos como comunidad, no queda más que la discusión filosófica.

carían el evento intrigante con el mismo éxito, y justamente era el éxito su indicador para decidir sobre la verdad de H1.

d) *Confusión entre nuestras convicciones y lo que es racionalmente aceptable en 3 (refuerzo de c)*: como vimos, la cuestión por la subdeterminación de las teorías por los datos, aplicada en el metanivel, es decir, en el nivel de las teorías filosóficas, ponía al realismo en equivalencia ante el antirrealismo frente a la explicación del éxito. Sin embargo, a pesar de esta subdeterminación, quedaba para el realista el refugio de los valores liptoneanos para dirimir la cuestión. Es decir que uno para franquear la crítica (c) podría decir que aquí no se trata de determinar cuál aceptar a partir de solo (1) por medio de los datos, sino que también juegan un rol fundamental los valores liptonianos de carácter "persuasivo" como la loveliness, la simplicidad, etc. A este respecto la cuestión roza lo subjetivo. A un antirrealista los valores lo llevan a creer que H2 es mejor y a un realista que lo es H1. Si nos guiásemos por lo que creíamos de antemano, llevados por los valores "persuasivos", ANM-IME no tendría sentido, pues ya sabríamos el resultado, pero si en realidad estábamos aún sin saber cuál seleccionar e hicimos todo esto para elegir la mejor explicación, seguiremos sin saber qué postura es mejor.[14] El argumento no puede tener elementos que varíen según nuestras convicciones, como la *loveliness*, la simplicidad o la plausibilidad intrínseca. Si así fuera el realista seguiría siendo realista y el antirrealista, antirrealista. De esta forma, concluiremos que, a raíz de esta metasubdeterminación reforzada, el argumento ANM-IME puede ser tanto realista como antirrealista.

e) *Falacia de la frecuencia de base en la inferencia (semejante al argumento de la metainducción pesimista)*: la falacia de la frecuencia de base consiste en el error de apoyar una idea enfocándose solo en las observaciones convenientes, ignorando el resto de los datos que le son incompatibles. Sería como elegir el boleto ganador de una lotería luego de que se han dado los resultados (Dawin & Hartmann 2018).

[14] Esto nos recuerda el argumento erístico del Menón sobre la imposibilidad de conocer. Si buscamos algo sin conocerlo previamente, nunca sabremos que lo hemos encontrado cuando demos con él, y si ya lo conocemos previamente no tiene sentido buscarlo (Men. 80d-e, Platón 1992).

En el razonamiento ANM-IME se asocia el éxito de nuestras teorías con la idea de "verdad aproximada", es decir, que se supone que aquellas teorías exitosas deben ser verdaderas o aproximadamente verdaderas, siendo el "éxito" un indicador de "verdad aproximada". Pero esto solo es posible si se ignoran aquellos casos en los que tenemos teorías exitosas, tanto del pasado como actuales, que sabemos que son falsas, es decir, si se ignoran casos en los que el éxito va a contramano de la verdad (Azar 2020 73; Howson 2000). Si prestáramos atención a esto, más bien creeríamos que es más probable que nuestras teorías exitosas sean falsas, contra la intuición del realista, puesto que son más los casos de teorías e hipótesis exitosas falsas que las teorías e hipótesis exitosas cuyo valor de verdad hoy en día incluso desconocemos. Para dejar en claro este punto, nos remitiremos al argumento de la metainducción pesimista:

> La historia de la ciencia está llena de teorías que en diferentes tiempos y por largos períodos han sido empíricamente exitosas, pero que se revelaron como falsas en sus afirmaciones sobre la estructura íntima del mundo. De igual modo, tales teorías están llenas de términos teóricos que no refieren. Por lo tanto, por simple (meta) inducción, nuestras actuales teorías son probablemente falsas —o es más probable que sean falsas que verdaderas— y muchos o la mayoría de los términos teóricos pueden ser no-referenciales.
>
> Por lo tanto, el éxito empírico de una teoría no proporciona una garantía a favor de la afirmación de que la teoría es aproximadamente verdadera. (Psillos 1999 101)

Esta vez no solo desligamos éxito y verdad, sino que ahora enlazamos éxito con lo contrario a la verdad, aunque no con la fuerza que esperaría un justificacionista, dado que el argumento tiene carácter inductivo y tal tipo de inferencia carece de fuerza. Sin embargo, la gracia de este argumento consiste en atacar al realista con las herramientas con las que se defiende. En caso de que el realista critique el carácter del argumento de la metainducción pesimista con la que se lo está atacando, deberá anular también los fundamentos de su milagro inductivista que le hacían conectar éxito con verdad o verdad aproximada.

Sin embargo, este argumento tiene una fortaleza solo temporal. Si su fortaleza está en la comparación entre el número de teorías refutadas del presente y del pasado, que suponemos que es mayor en comparación con las teorías corroboradas en el presente, entonces es cuestión de tiempo para que tarde o temprano lleguemos a un punto donde las teorías corroboradas sean mayores en número que las refutadas o abandonadas (suponiendo que las teorías puedan individuarse y contarse para hacer tal comparación). Claro que este revés depende de dos conjeturas: por un lado, que todas las teorías exitosas corroboradas al momento del recuento son verdaderas, a pesar de que no podamos saber de forma segura su valor, y, por otro lado, que la proliferación teórica se da de forma exponencial o geométrica.

La primera conjetura sobre el valor de verdad de las hipótesis corroboradas depende de la actitud científica: si no creyéramos que son verdaderas no tendría sentido que las apliquemos, intentemos refutarlas o intentemos expandirlas. Sin embargo, al momento de reflexionar podemos ponernos en guardia y decir que son solo conjeturas y estamos abiertos a que en el futuro sean abandonadas. Por el momento, la actitud científica natural nos basta para sostener la primera conjetura en favor del argumento contra la metainducción pesimista que estamos formulando. Además, el antirrealista al momento de formular su argumento de la metainducción acepta esta primera conjetura provisoriamente.

La segunda conjetura sobre el crecimiento exponencial cuenta con un apoyo empírico indirecto proveniente de los estudios acerca de los datos almacenados digitalmente. Estos dicen que tales datos crecen exponencialmente al punto que se prevé que la información generada durante el 2025 será el equivalente a 175 veces la generada durante el 2011 (Reinsel, Gantz & Rydning 2018). Por supuesto, no hablamos de datos científicos, pero nos ayudan a imaginar cómo el crecimiento de la comunidad científica, la proliferación de especialidades y subespecialidades, el mejoramiento y la creación de nuevos instrumentos de observación y medición, la interminable repetición de recolección de datos, que también crece a un ritmo muy diferente a lo que fue en el pasado, pueden llegar a dar con un crecimiento semejante en el área de la ciencia. De ser así, la segunda conjetura sobre el crecimiento exponencial de los datos científicos, que llevaría a la superación de las teorías exitosas corroboradas por sobre las refutadas, parecería razonable.

Entonces llegará el día en que la metainducción pesimista se transformará en metainducción optimista. Como consecuencia, cuando ese momento llegue, el antirrealista deberá volver a refugiarse en los otros argumentos que aún habrán quedado en pie. Por ejemplo, la conexión del éxito con la verdad seguirá quedando indefensa ante la subdeterminación.

f) *El problema de la ambigüedad de las explicaciones estadístico-inductivas*: si bien entendemos que una IME podría no ser aceptada por todos como un tipo de razonamiento inductivo, este problema parece afectar por igual a toda inferencia no deductiva que brinde algún tipo de apoyo parcial a la conclusión.

Aun suponiendo que ANM-IME sirviera en principio para dirimir la cuestión, podríamos creer que en todo caso, no siendo un razonamiento deductivo válido (como todos reconocemos), tiene carácter inductivo o ampliativo y las premisas nos brindan apoyo probable. Sin embargo, dado el argumento (c), en este caso las premisas podrían llevar a un antirrealista a sostener la conclusión contraria, algo así como el problema de la ambigüedad de las explicaciones inductivo-estadísticas de Hempel:

> […] para cada explicación probabilística propuesta, con un explanans verdadero que confiere una alta probabilidad a un suceso particular, habrá frecuentemente un razonamiento rival de la misma forma probabilística y con premisas igualmente verdaderas que confiere una alta probabilidad a la no producción del mismo hecho. (Gaeta 1996 39)

La solución a este problema aparecería, teniendo en cuenta (a), si el realista o el antirrealista nos explicaran cómo sus posturas se conectan con el éxito de las teorías a la manera del "requisito de la máxima especificidad de las explicaciones inductivo-estadísticas".[15]

[15] Sin embargo, bajo esta analogía con el marco hempeliano deberíamos agregar que incluso las "explicaciones" aquí dadas no son explicaciones en tanto fallan en el requisito de relevancia, cuestión abordada en (a). Si quienes defienden estas posiciones completaran sus argumentos, conectando sus posiciones con el éxito de las teorías científicas, entonces podríamos estar hablando de explicaciones genuinas y muchos de estos argumentos serían inocuos.

6. Conclusión

Dados los argumentos (a)-(f), y considerando la utilidad de (e) solo temporalmente, en torno a los elementos de ANM-IME creemos que tenemos suficientes razones para suponer que, de aceptar las premisas del argumento, no hay motivos para sostener la verdad de la conclusión o para apoyar más una postura que otra. Nuestra crítica principal en (a) se ha centrado en que ninguna de las "explicaciones" adjudicadas tal como fueron planteadas puede ser entendida como explicaciones, lo cual desarma la posibilidad de que sean realmente componentes de una IME. Aún así, aunque las tomásemos como explicaciones genuinas, la clara indeterminación o "ambigüedad" de la situación resaltada en (c), (d) y (f) lo que hace es apoyar un antirrealismo "agnóstico" según el cual no podemos saber si nuestras mejores teorías son verdaderas o falsas, ni si nuestros términos teóricos refieren a entidades reales, incluso si así fuera. Esta postura no pretende ser una explicación del éxito de las teorías, sino más bien una inclinación prudente frente al estado actual de la cuestión. Es decir, la disolución del argumento tanto para el realista como para el instrumentalista termina sirviendo para apoyar la idea de que la cuestión no puede ser zanjada. Y si es así, el desafío más interesante para el filósofo de la ciencia no es pronunciarse sobre el realismo o el antirrealismo, sino sobre cómo es posible el éxito de nuestras teorías a pesar de todo esto, cuestión que según Ernst Mach debía ser el principal problema que tenía que pensar el filosofó de la ciencia (Mach 1948). Si el realista solo tuviera ANM-IME para defender su posición, entonces o bien supera estas críticas, o bien abandona el guante y se enfoca en el problema del éxito de las teorías. Quedará por investigar si este es el fin del ANM-IME, si estas críticas pueden ser superadas o si no es necesario superarlas.

Trabajos Citados

Azar, Roberto. "¿Es correcta la identificación entre 'Abducción' e 'Inferencia a la Mejor Explicación'?". *Revista Académica Contrastes* 22.1 (2017): 7-17. <https://doi.org/10.24310/Contrastescontrastes.v22i1.3406>

_____. "¿Conduce la inferencia a la mejor explicación necesariamente al realismo científico?". *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia* 20.40 (2020): 61-92. <https://doi.org/10.18270/rcfc.v20i40.3232>

Borge, Bruno. "Realismo científico hoy: a 40 años de la formulación del Argumento del No-Milagro". *Acta Scientiarum. Human and Social Sciences* 37.2 (2015): 221-233. https://doi.org/10.4025/actascihumansoc.v37i2.26933

_____. "Realism about what? Unobservable entities and the metaphysics of modality". *Unisinos Journal of Philosophy* 17.1 (2016): 69-74. <https://doi.org/10.4013/fsu.2016.171.09>

Carnap, Rudolf. *Fundamentación lógica de la física.* Buenos Aires: Editorial Sudamericana, 1985.

Dawid, Richard & Hartmann, Stephan. "The no miracles argument without the base rate fallacy". *Synthese* 195.1 (2018): 4063-4079. <https://doi.org/10.1007/s11229-017-1408-x>

Dellsén, Finnur. "Explanatory rivals and the ultimate argument". *Theoria* 82.3 (2015): 217-237. <https://doi.org/10.1111/theo.12084>

Frost-Arnold, Greg. "The no-miracles argument for realism: Inference to an unacceptable explanation". *Philosophy of Science* 77.1 (2010): 35-58. <https://doi.org/10.1086/650207>

Gaeta, Rodolfo. *Modelos de explicación científica*, editado por Susana Lucero, Gentile Nélida y Nilda Robles. Buenos Aires: Editorial Universitaria, 1996.

_____. "Consideraciones acerca del argumento del no milagro". *Filosofía e historia da ciencia no Cone Sul. Seleção de trabalhos do 5º encontro*, editado por Roberto de Andrade Martins, Cibelle Celestino Silva, Juliana Mesquita Hidalgo Ferreira y Lilian Al-Chueyr Pereira Martins. Campinas: Associação de Filosofia e História da Ciência do Cone Sul (AFHIC), 2008, pp. 391-397.

Gentile, Nélida. "Acerca de la consistencia de la doctrina de Quine". *Filosofía Unisinos* 9.3 (2008): 201-213.

Hempel, Carl. *Filosofía de la ciencia natural.* Madrid: Alianza, 1982.

Howson Collin. *Hume's problem: Induction and the justification of belief.* Oxford: Clarendon Press, 2000.

Kukla, André. "The varieties of realism". *Studies in scientific realism.* Nueva York: Oxford University Press, 1998, pp. 3-11.

Lipton, Peter. *Inference to the best explanation.* London: Routledge, 1991.

Lyons, Tomothy D. "Explaining the success of a scientific theory". *Philosophy of Science* 70.5 (2003): 891-901.

Mach, Ernst. *Conocimiento y error*, traducido por Cortés Pla. Madrid: Espasa-Calpe, 1948.

Musgrave, Alan. "The ultimate argument for scientific realism". *Relativism and realism in science*, editado por Robert Nola. Dordrecht: Kluwer Academic Press, 1988, pp. 229-252.

Platón. *Diálogos II: Gorgias. Menéxeno, Eutidemo, Menón, Cratilo.* Madrid: Gredos, 1992.

Popper, Karl R. *La lógica de la investigación científica.* Madrid: Tecnos, 1980.

_____. Conocimiento: subjetivo contra objetivo. *Popper, escritos selectos*, compilado por David Miller y traducido por Sergio René Madero Báez. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica, 1995a.

_____. Epistemología evolutiva. *Popper, escritos selectos*, compilado por David Miller y traducido por Sergio René Madero Báez. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica, 1995b.

_____. *Realism and the aim of science: From the postscript to the logic of scientific discovery.* Londres: Routledge, 2013.

Psillos, Stathis. Scientific realism: How science tracks truth. London: Routledge, 1999.

_____. "Simply the best: A case for abduction". *Computational logic. Logic programming and beyond: Essays in honour of Robert A. Kowalski*, editado por Fariba Sadri y Antonis Kakas. Berlin/Heidelberg: Springer, 2002, pp. 605-625.

_____. "The fine structure of inference to the best explanation". *Philosophy and Phenomenological Research* 74.2 (2007): 441-448.

Putnam, Hilary. *Mathematics, matter and method.* Cambridge: Cambridge University Press, 1975.

Quine, Willard van Orman. "Sobre los sistemas del mundo empíricamente equivalentes". *Acerca del conocimiento científico y otros dogmas.* Barcelona: Paidós, 2001.

Reinsel, David, Gantz, John & Rydning, John. *The digitization of the world from edge to core.* Framingham: International Data Corporation, 2018.

Spehrs, Adriana. "Explicación, adecuación empírica y verdad". Epistemología e historia de la ciencia, editado por Ricardo Caracciolo y Diego Letzen. Córdoba: Centro de Investigaciones de la Facultad de Filosofía y Humanidades de la Universidad Nacional de Córdoba, 2001, pp. 489-495.

Van Fraassen, Bas C. *The scientific image.* Oxford: Oxford University Press, 1980.

_____. Laws and simmetry. Oxford: Clarendon Press, 1989.

Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia
Vol. 22 n.o 44 (2022): 59-103
ISSN: 0124-4620 (papel) & 2463-1159 (electrónico)

Fecha de recepción: 12/02/2021
Fecha de aprobación: 02/07/2021
Fecha de publicación: 29/06/2022
https://doi.org/10.18270/rcfc.v22i44.3404

La evolución de los conceptos de la física del siglo XIX: un análisis a partir de la tipología de Shapere*

The Conceptual Evolution of 19th Century Physics: An Analysis Based On Shapere's Typology

Fernanda Samaniego Bañuelos
Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad de México, México.
fernandasamaniego@filos.unam.mx
https://orcid.org/0000-0002-0439-1374

Nalliely Hernández Cornejo
Universidad de Guadalajara
Guadalajara, México.
nalliely.hernandez@academicos.udg.mx
https://orcid.org/0000-0002-3345-4469

CC BY NC ND

RESUMEN

En este artículo se utiliza la tipología de Dudley Shapere de los problemas científicos para clasificar y analizar las principales preguntas de la física en la transición del siglo XIX al XX. Se exploran las concepciones de espacio, campo, entropía, éter, energía y materia en las décadas previas a la llegada de la relatividad y la mecánica cuántica. Así, se recorren las ideas de Poincaré, Faraday, Boltzmann, Maxwell, Helmholtz y Lorentz, entre otros, para comprender las condiciones epistemológicas del cambio de siglo y evaluar, a la vez, las virtudes y defectos de la tipología shapereana.

Palabras clave: cambio científico; problemas conceptuales; física; siglo XIX; Shapere.

* Este artículo se debe citar: Samaniego Bañuelos, Fernanda & Hernández Cornejo, Nalliely. "La evolución de los conceptos de la física del siglo XIX: un análisis a partir de la tipología de Shapere". *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia* 22.44 (2022): 59-103. *https://doi.org/10.18270/rcfc.v22i44.3404*

ABSTRACT

In this paper, Dudley Shapere's typology of scientific problems is applied to classify and analyse the main questions of physics in the transition form 19th to 20th century. A variety of conceptions of space, field, entropy, ether, energy, and matter are explored, all of them proposed during the previous decades to the arrival of Relativity and Quantum Mechanics. Ideas of Poincaré, Faraday, Boltzmann, Maxwell, Helmhotlz and Lorentz, among others, allow us understand the epistemological conditions in the late 19th century, and evaluate, at the same time, the virtues and limitations of Shapere's typology.

Keywords: scientific change; conceptual problems; physics; 19th century; Shapere.

1. Introducción

El surgimiento de la teoría de la relatividad y de la mecánica cuántica, a principios del siglo pasado, marcaron el inicio de la física contemporánea. A primera vista, estas teorías representaron una abrupta ruptura con buena parte de la tradición clásica de los siglos xviii y xix de origen newtoniano. No obstante, la historia es mucho más compleja. Durante el siglo xix surgieron un conjunto de teorías y conceptos para describir los fenómenos físicos estudiados en la época, los cuales no pertenecían propiamente al esquema newtoniano ni se derivaban directamente de él, aunque tampoco estaban en franca ruptura con este. La teoría electromagnética de James Clerk Maxwell, la mecánica estadística de Ludwig Boltzmann, los desarrollos en la geometría y las transformaciones de Hendrik Antoon Lorentz, por ejemplo, presentaron cierta continuidad y hasta consolidación de la física que se venía desarrollando durante los siglos xvii y xviii, al tiempo que establecieron las bases para la física contemporánea. Analizar estos desarrollos, utilizando instrumentos teóricos, resulta de interés para comprender dichos cambios científicos.

En filosofía de la ciencia es común reconstruir la transición de la física clásica del siglo xix a la física cuántica y relativista del siglo xx, aludiendo al hecho de

que las nuevas teorías resolvían anomalías.[1] En el caso de la relatividad, el perihelio anómalo de Mercurio recibió una explicación más convincente y precisa con la curvatura del espacio-tiempo debida a la presencia del Sol; en el caso de la mecánica cuántica, los cuantos de energía ofrecieron la comprensión del mundo subatómico que la continuidad no conseguía brindarle. Aquí constataremos que *una* anomalía resuelta, no obstante, es insuficiente para generar el reemplazo de una teoría. Como es bien sabido en los estudios de la ciencia, el que una segunda teoría sea capaz de resolver un problema que una teoría anterior fallaba en resolver no siempre ha implicado que la nueva teoría suplante a la vieja.[2] Los procesos de cambio científico suelen ser más complejos y paulatinos.

Entonces, cabe preguntarse, en el contexto del cambio de la física decimonónica a la del siglo xx: además de la resolución de las anomalías asociadas al perihelio de Mercurio y al cuerpo negro, ¿qué otros problemas se solucionaron con la física contemporánea? ¿Qué elementos determinan las transformaciones en el cambio de siglo? El objetivo del presente artículo es responder a algunos de estos cuestionamientos. Para ello, analizaremos la capacidad de resolución de problemas de las teorías en juego, utilizando la tipología de problemas o "inadecuaciones científicas" que el filósofo de la ciencia Dudley Shapere propuso en 1985. Aquí es donde radica la originalidad de nuestra aportación, ya que si bien reconocemos que se han escrito otros artículos y libros sobre la transición de la física clásica a la contemporánea, mu-

[1] Aquí usamos el término kuhniano "anomalía" que refiere a un hecho que no puede explicarse dado el marco conceptual del paradigma dominante.

[2] Se han dado casos en la historia de la ciencia en que incluso la teoría anterior T1 era capaz de explicar algún fenómeno de la naturaleza que la nueva teoría T2 dejaba sin explicar. El pleno cartesiano, por ejemplo, explicaba el hecho de que todos los planetas giran en una misma dirección. Dado que todos descansan en un mismo vórtice colmado de materia, diría Descartes, estos cuerpos celestes se desplazan flotando en un remolino marino (Elena 1983 13). En cambio, una cosmología gravitatoria newtoniana de las acciones a distancia no ofrecía una explicación física para la unidireccionalidad planetaria. Pese a tener esta deficiencia explicativa, es decir, pese a que la física cartesiana resolvía una pregunta que la física newtoniana no lograba resolver, esta última se impuso sobre la cartesiana por contener un poder de cálculo predictivo mucho más potente.

chos de ellos tienen exclusivamente un enfoque histórico y, que las autoras sepamos, ninguno aplica como el presente artículo las herramientas de la filosofía de la ciencia shapereana para hacer un balance de las continuidades y discontinuidades entre la tradición que se venía desarrollando con el modelo newtoniano y las que surgieron a principios del siglo xx.[3]

Nuestro artículo estará estructurado de la siguiente manera: En la sección 2 presentaremos la tipología shapereana de problemas científicos. En la sección 3 llevaremos a cabo el ejercicio de enlistar varios de los problemas de la física de finales del siglo xix y daremos algunas pistas sobre cómo es que fueron resueltos. La sección 4 estará dedicada a clasificar y analizar dichos problemas usando la tipología de Shapere. Por último, en la sección 5, se enfatizará la transición hacia la física actual y se presentarán nuestras consideraciones finales respecto a la visión shapereana de la ciencia.

2. Clasificación de los problemas científicos

La clasificación que presentaremos a continuación fue propuesta por Dudley Shapere en el artículo de 1985 "Objectivity, rationality and scientific change". Como preámbulo a la clasificación, el autor define lo que entenderá por áreas de investigación científica o dominios y lo que entenderá por teoría científica:

[3] Existen muchos estudios sobre la filosofía de la ciencia de Shapere, como ejemplo cabe resaltar el artículo de Kolá Abímólá (2006) "Rationality and methodological change, Dudley Shapere's conception of scientific development". Sin embargo, lo que queremos resaltar es que o bien los artículos filosóficos se centran en las ideas de Shapere, o bien los artículos históricos se centran en los trabajos de los científicos, y aquí proponemos un enfoque híbrido histórico filosófico en el que la metodología shapereana es aplicada a la transición que experimentó la física matemática al pasar de finales del siglo xix a principios del xx.

Un *dominio* es un conjunto de elementos de información plausible que tienen las siguientes características:

a. Los elementos están asociados con base en una supuesta relación que se mantiene entre ellos;
b. Existe una problemática en torno al cuerpo de información;
c. La problemática es importante;
[Y] se espera que una teoría dé cuenta de los elementos del dominio, de una manera completa y satisfactoria. (Shapere 1985 641, traducción propia)

Esta definición de los dominios muestra que Shapere concibe la ciencia como una actividad guiada por la motivación humana de resolver problemáticas específicas: ¿cómo está compuesta la materia?, ¿qué mecanismos definen la transmisión de genes?, ¿cómo se dan los enlaces entre átomos?, ¿qué determina la coloración del mar?, ¿cómo garantizar la efectividad de una vacuna? Son precisamente esas problemáticas las que van definiendo los dominios de la ciencia en agrupaciones de elementos que resultan relevantes para resolverlas.

Los dominios presentan una variedad de problemas que, siguiendo al autor, se pueden sistematizar en las siguientes clases:[4]

I. *Problemas de dominio.* Son aquellos que conciernen al objeto de investigación y hay tres subtipos principales:

I.a. *Completud del dominio*: pueden existir razones para suponer que la lista de elementos en el dominio está incompleta, como ocurría con los huecos en la tabla periódica, los cuales sugerían la existencia de elementos desconocidos.

[4] Véase: Shapere 1985 642-643.

I.b. *Descripción del dominio*: estos problemas tienen que ver con qué tantos detalles se han podido especificar de los elementos del dominio o con cuánta precisión se ha conseguido medirlos.

I.c. *Coherencia del dominio*: se trata de qué tan claro está un enfoque unificado respecto a todos los elementos del dominio o si existe algún elemento cuya pertenencia al dominio esté en duda. Estos problemas nos muestran que la identificación de un dominio es siempre revisable a la luz de nuevos descubrimientos. Quizás ese elemento que no encaja puede derivar en la subdivisión de un dominio en dos distintos.

II. *Problemas de éxito teórico*: se espera que una teoría especifique las características de todos los elementos de un dominio de manera precisa. No deben incluirse en la teoría entidades ni propiedades cuya existencia no se haya encontrado tras una búsqueda cuidadosa.

Se dice que una teoría es exitosa si cumple con estos requisitos. Vemos, por tanto, que el éxito de las teorías se juzga con respecto a su dominio. Además de qué tan bien da cuenta de su dominio, una teoría puede tener otros subtipos de problemas que llamaremos:

III. *Problemas de adecuación teórica*:

III.a. *Consistencia teórica*: cuando, a pesar de ser exitosa, la teoría presenta contradicciones internas o incoherencias.

III.b. *Completud teórica*: cuando presenta problemas, ya no sobre la completud de la teoría con respecto a su dominio, sino sobre otro tipo de ambigüedades o vaguedades respecto a la mejor formulación de la teoría, arbitrariedad de parámetros fundamentales o incluso la necesidad de una teoría más profunda.

III.c. *Afirmaciones sobre la realidad*: cuando tenemos buenas razones para suponer que la teoría propuesta es "irreal" en el sentido de "poco-realista", por ejemplo, cuando la teoría es aplicable solamente a cuerpos esféricos cuya interacción con el medio es despreciable.

III.d. *Comparabilidad interteórica*: cuando una teoría no es compatible ni derivable de otra teoría que esperaríamos que fuera igualmente válida.

3. Algunos problemas científicos de finales del siglo xix y su evolución

3.1. Espacio

La naturaleza del espacio es uno de los temas que más ocupó a los científicos decimonónicos. Les interesaba entender cuál era su estructura, si había alguna razón específica para su tridimensionalidad y, por supuesto, si estaba primordialmente lleno de materia o estaba vacío. Para abordar el tema del espacio, presentaremos las perspectivas que se planteaban en aquella época desde dos disciplinas distintas: física y geometría.

En física las reflexiones y problemáticas en torno al espacio durante el siglo xix ocurrieron en varias direcciones. El éxito de la teoría newtoniana implicaba la aceptación implícita del espacio absoluto, no obstante, su ausencia en la física práctica ocasionará que dicho concepto comience a ser problematizado. Como afirma Max Jammer,

> Es interesante señalar cuán poco fue afectado el desarrollo real de la ciencia de la mecánica, por las consideraciones generales sobre la naturaleza del espacio absoluto. Ninguno de los grandes autores franceses que escribieron sobre mecánica —Lagrange, Laplace y Poisson— estuvo muy interesado en el problema del espacio absoluto. Todos ellos aceptaron la idea como una hipótesis de trabajo, sin preocuparse por su justificación teórica. Al leer las introducciones de sus obras, se descubre que ellos tenían la sensación de que la ciencia se las podía arreglar muy bien sin hacer consideraciones generales sobre el espacio absoluto (1954 179).

Por otro lado, buena parte de los físicos recibieron cierta influencia de la estética trascendental de Inmanuel Kant e interpretaron frecuentemente el espacio

como una intuición universal que organizaba el modo en que percibimos los objetos o variaciones de dicha idea (Jammer 1954 176-179).

Como veremos a continuación, tanto el compromiso con la tradición newtoniana, como el carácter kantiano de la geometría se van a transformar. En primer lugar, en términos prácticos, la mecánica no es afectada por el concepto de espacio absoluto: figuras tan relevantes como Joseph-Louis Lagrange o Pierre-Simon Laplace lo toman como hipótesis de trabajo, como afirma Jammer. Es decir, muestran cierto desinterés por la cuestión, ya que el conocimiento y la descripción del espacio en la física es relativo a los cuerpos. Como el espacio absoluto es empíricamente inaccesible, en las descripciones usamos lugares relativos, de los cuales este es su representante simbólico, ya que, como dice Jean Eisenstaedt, lo relativo remite a lo absoluto, y los lugares relativos son los marcos de referencia inerciales. Si un cuerpo está libre de fuerza respecto a un marco de referencia inercial, se encuentra en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme. Pero si existe un marco de referencia así, hay una infinidad de ellos, todos son equivalentes y en conjunto definen el espacio absoluto: "[L]a ley fundamental de la mecánica es válida en espacios absolutos y es la misma en todos los marcos de referencia inerciales" (Eisenstaedt 2005 22-24). De tal forma, ya no es necesario ese marco de referencia inmóvil y fundamental según el cual el movimiento es absoluto, basta con que consideremos el conjunto de los marcos de referencia inerciales.

Ya en la segunda mitad del siglo XIX, la ausencia práctica del espacio absoluto se hace explícita en la bien conocida crítica de Ernst Mach a Isaac Newton, en la que propone que la suposición del espacio absoluto es innecesaria (Jammer 1954 182-184). Siguiendo los pasos del empirismo de David Hume, Mach argumenta que, una vez que decidimos conservar únicamente aquello que podamos demostrar empíricamente, reconocemos que el tiempo y el espacio absolutos son "ficciones metafísicas" que deben, por tanto, abandonarse.[5]

[5] Véase Castro (2002 90-92).

De hecho, ya el matemático, físico, filósofo e ingeniero Henry Poincaré dice que quien habla de espacio absoluto emplea un término sin significado. En el libro Ciencia e *hipótesis* (2002) escribe que no existe un espacio absoluto, pues solo concebimos movimientos relativos. Al mismo tiempo, en una conferencia insiste en la validez del principio de relatividad "según el cual las leyes de los fenómenos físicos deben ser los mismos para un observador fijo que para uno en movimiento rectilíneo uniforme, sin poder discernir si estamos en dicho movimiento" (Eisenstaedt 2005 225).[6] De esta forma podemos percibir cierto debilitamiento del concepto de espacio absoluto, fundamentalmente porque dicho concepto no representa ninguna manifestación empírica o consecuencia práctica.

Durante el siglo xix surgen tanto las geometrías no euclideanas como las denominadas geometrías curvas a raíz de eliminar el quinto postulado sobre las líneas paralelas (Carl Friedrich Gauss, Nicolai Lobachevski, Janos Bolyai),[7] y eventualmente se suscitó la idea de que no había método para decidir lógica o matemáticamente la geometría del espacio físico, de tal manera que se abre la posibilidad de que esta fuera distinta a la euclidiana.

Ahora bien, la relevancia de la geometría no euclidiana para cuestionar la estructura del espacio físico se muestra más claramente a partir de Bernhard Riemann

---

6 De la misma forma anuncia que no existe tiempo absoluto, que dos duraciones sean iguales no tiene sentido en sí mismo, y no puede adquirirlo sino por convención, ya que carecemos de la intuición directa de la igualdad de dos duraciones y de la simultaneidad de dos acontecimientos que tienen lugar en escenarios diferentes. En este artículo evitaremos problematizar directamente el tiempo y nos limitaremos al concepto de espacio. Para más detalles sobre el concepto de tiempo, véase Castro (2002).

7 La geometría euclidiana o plana satisface los cinco postulados de Euclides. No obstante, el quinto tiene una historia polémica puesto que no parecía ser una verdad autoevidente, tal y como se pensaba que debían ser los axiomas (Euclides lo presenta como tal en sus Elementos). Como su formulación más sencilla afirma que las rectas paralelas son equidistantes, a menudo es conocido como el postulado de las paralelas. Como su formulación es más complicada que el resto, durante muchos años diversos geómetras intentaron demostrar que era una consecuencia lógica de los anteriores o una combinación de ellos. Sin embargo, en el siglo xix se concluyó su independencia del resto de los postulados y de su negación surgieron las geometrías curvas. Para ver en toda su complejidad el asunto consultar a Montesinos (2014).

(1978). Él generalizó el concepto de distancia,[8] y con ello construyó un concepto más general del espacio, con curvatura, para lo cual supuso que el concepto de distancia era intrínseco al espacio. Más aún, Riemann hace un guiño a ideas centrales de la relatividad cuando sugiere que las propiedades geométricas del espacio pueden dar cuenta del movimiento (Jammer 1954 202-205).

Otra posición crucial para la transición del espacio newtoniano al relativista en el campo de la geometría fue la de Poincaré. Es sabido que era un convencionalista que, si bien conocía perfectamente las geometrías curvas, consideraba que la geometría euclidiana era el instrumento más práctico y cómodo para dar cuenta de nuestra experiencia del espacio. El francés afirmaba que las medidas empíricas que hacemos del espacio no son del espacio mismo, sino de los objetos dados empíricamente en él (varillas, rayos de luz), eso implica que la experiencia no puede decirnos nada de la estructura geométrica del espacio, solo de las relaciones entre objetos materiales. Por lo tanto, la geometría elegida es solo una convención para describir mejor las leyes de la naturaleza de forma más simple y eso lo cumple la geometría euclidiana (véase Jammer 1954). Para Poincaré parece haber una *intuición geométrica* que no es del todo abstracta, sino que deriva de hechos que nos resultan familiares.

En suma, podemos ver que tanto desde la física como desde la geometría se va preparando el escenario para abandonar el espacio absoluto y comenzar el paradigma de una física *geometrizada*. Sin embargo, se trató de un proceso que involucraba un conjunto de problemas, además de compromisos ontológicos y epistémicos que irán modificándose paulatinamente.

[8] Riemann propuso el segundo caso de geometría no euclideana (esférica), una geometría de curvatura constante positiva. Generalizó el método de superficies bidimensionales a n-dimensiones y este fue el primer ejemplo que demostró la utilidad del aumento de la dimensión de una variedad en una unidad.

3.2. Campo

El viejo problema de la física newtoniana de la "fantasmal" acción a distancia que implicaban las fuerzas gravitatorias instantáneas nunca fue solucionado, tanto que el marco metafísico alternativo de Rene Descartes y Gottfried Leibniz, basado en la continuidad, aún ofrecía alternativas (Berkson 1985 [1974] 18-25). Aunque, como es bien sabido, el modelo newtoniano dominaba por una cuestión de eficiencia y generalidad predictiva, de la cual no gozaban las propuestas alternativas, para muchos este asunto quedó abierto o sin solución.

Por ello, parte de los desarrollos del siglo xix están dirigidos a recuperar el principio de continuidad de Leibniz, en el que se defiende la acción física por contigüidad en oposición a la acción a distancia.[9] Es plausible que la construcción del concepto de campo provenga del de fuerza en el dominio de la teoría electromagnética, pero a partir de la idea de solucionar dicho problema. Así, alrededor de 1850 los físicos británicos establecen la idea de que un campo representa (media) la distribución espacio-temporal de una magnitud física, en este caso las magnéticas y eléctricas, y estas se pueden medir en torno a cada punto en una región del espacio para cada instante de tiempo.[10]

El origen de tal desarrollo se encuentra en las líneas de fuerza que Michael Faraday propone en el siglo xix con esta convicción antinewtoniana. Según él, la fuerza tiene una localización definida (está en un lugar) y se mueve por el campo con una velocidad finita que depende de las fuerzas contiguas (Berkson 1985 [1974] 50). Como son contiguas, cualquier cambio en la cantidad de fuerza de una región debe ser compensada con el aumento de la misma cantidad en la región inmediatamente vecina. Además, como consecuencia de su rechazo de la acción a distancia, Faraday estaba convencido de la unidad y conservación de las fuerzas, ya que de lo contrario se crearía fuerza o energía donde no la había.

---

[9] Para ver por qué Faraday encontraba atractivas ideas antinewtonianas, véase Berkson (1985 [1974] 31-34).

[10] Esto muestra que Faraday asumía el supuesto ontológico de que algo no se puede crear de la nada.

Según Faraday, la fuerza es una sustancia universal que llena el espacio. Cada punto del campo de fuerza tiene una cierta cantidad de fuerza asociada con él y, según su dirección y magnitud, causará movimiento en sus puntos vecinos (Berkson 1985 [1974] 51). De tal forma, las líneas de fuerza representan la distribución de fuerzas y, más tarde, representarán la trayectoria que seguiría una partícula en ese punto. No obstante, tales líneas salen de la tradición newtoniana y eran más afines a la filosofía natural alemana, pero carecían de una formulación matemática clara. Ello genera una discusión sobre la plausibilidad de su existencia "real". En este sentido, Faraday considera que hay dos argumentos que probarían dicha existencia: a) Que pueden curvarse;[11] b) Que tardan tiempo en propagarse (Harman 1982 78).

Como afirma P.M. Harman, el trabajo de James Clerk Maxwell constituye el intento más sistemático de formalizar las ideas de Faraday sobre el campo magnético (Harman 1982 84). Luego Maxwell encontró una forma (con cálculo vectorial) de representar el cambio de la fuerza electromotriz. Así, formuló ecuaciones matemáticas y luego se dedicó a encontrar una explicación de las leyes que había formulado con la intención de llegar finalmente a una teoría unificada de la electricidad y el magnetismo.

El inglés formalizará buena parte de las ideas, más bien empíricas, de Faraday. Tanto en la teoría de Maxwell, como en la de Faraday, un cuerpo no actúa directamente sobre otro, sino progresivamente a través del campo (y del éter). Sin embargo, para Maxwell, sí hay división entre materia y fuerza, igual que en la teoría de Newton. Las fuerzas en Maxwell proceden de intensidades del campo que actúan sobre la materia situada en el mismo punto que el campo. Por lo tanto, hay que utilizar funciones continuas para describir el campo y ecuaciones diferenciales para describir la variación de tales funciones. De tal forma, en teoría podemos encontrar dos tipos de leyes: las que determinan la tendencia del movimiento de un punto de fuerza debido a los puntos de fuerza circundantes y las que dan las condiciones de variación de la

[11] La interacción con una entidad cuántica es un motivo para argumentar a favor de la realidad de dicha entidad (véase Hacking 1996).

fuerza de un punto de fuerza determinado. Esto implica que se necesita una mecánica de campo de fuerzas diferente a la newtoniana. La fuerza no puede disminuir y ser compensada por un aumento repentino en otro lugar (gracias a una ecuación de continuidad). Así mismo, la velocidad debe ser función del campo en un punto, y su entorno inmediato y las variaciones deben tardar un tiempo finito en propagarse.[12]

De esta forma, a partir de su modelo, Maxwell dedujo las ecuaciones del campo electromagnético y la teoría de la luz, sabiendo que tenía que obtener ciertos resultados cuantitativos. La principal condición que puso es que obedeciera las leyes de la mecánica newtoniana, pero había que modificarlas para una teoría de cambios de acción contigua, según las condiciones que ya hemos mencionado. Esto colocó a Maxwell en la condición de explicar los fenómenos electromagnéticos en términos del éter, supeditado a las leyes de Newton. Como consecuencia, en el artículo de 1861 *On physical lines of force* (1961), Maxwell pasó a un tratamiento del campo electromagnético desde un punto de vista mecánico, proporcionando una teoría sistemática de la propagación de las fuerzas eléctricas y magnéticas (Harman 1982 89).

El mecanismo usado tenía masa y elasticidad justamente para asegurar la finitud de propagación. Si lograba deducir la velocidad de las ondas en el mecanismo a partir de estas propiedades, entonces tendría una predicción que sería contrastable, de forma independiente, con la teoría de la elasticidad que determinaba la velocidad de las ondas transversales en un mecanismo sujeto a las leyes de Newton.[13] De esta forma, la velocidad dependía del medio. Luego Maxwell liberó las ecuaciones del mecanismo para poder seguir desarrollando el modelo. Con ello quedó claro que, a pesar de que el mecanismo se derivaba de su compromiso newtoniano, las hipótesis realmente no dependían de este.

Por lo tanto, Maxwell realiza una interpretación operativa de su modelo: las magnitudes electromagnéticas son fundamentales y el campo es una realidad in-

---

[12] Véase Harman (1982 88-89).

[13] Conociendo la rigidez y densidad del mecanismo en términos de las propiedades electromagnéticas y usando hipótesis simplificadoras arbitrarias, por ejemplo, despreció la elasticidad y masa de las bolas.

dependiente (como causa de la acción). Los campos actúan directamente sobre la materia conductora. Así, materia y campo son entes distintos e interpenetrables. Es decir, el fundamento ya no es el mecanismo, que antes era material, y ahora hay dos entidades fundamentales: radiación y materia. En esta interpretación el campo actúa directamente sobre la materia situada en el mismo punto que la intensidad que actúa.

En general, Maxwell logró hacer una representación matemática del estado electrotónico y del campo electromagnético a partir de las ideas de Faraday. En 1865 publicó un artículo sobre su teoría de campo refinada, con una interpretación mecánica de partículas de materia moviéndose en el éter como generadoras de los fenómenos electromagnéticos, pero usando un formalismo que no echaba mano de un modelo mecánico específico. Con ello, Faraday y Maxwell configuran ontológica y formalmente el concepto de campo, sustituyendo la idea de fuerza como acción a distancia newtoniana, sin dejar de ser newtonianos (particularmente Maxwell), al menos explícitamente, y preparando el terreno para las teorías de campo que dominarán la física del siglo XX.

Por otro lado, el descubrimiento de Faraday de la rotación magnética de la luz polarizada mostraba la existencia de una relación íntima entre luz y magnetismo, por lo cual resultaba natural asignar al mismo éter los efectos electromagnéticos y luminosos. Ello sugería que las ondas luminosas podían ser fenómenos electromagnéticos. Maxwell, usando sus ecuaciones nuevas demostró que la velocidad de las ondas electromagnéticas es coincidente con la velocidad de la luz, de la manera que identificó la luz con un fenómeno electromagnético (Harman 1982 93).

Finalmente, en 1887, Heinrich Rudolf Hertz comprobó las consecuencias empíricas de las ondas electromagnéticas: investigó la influencia de un imán en la creación de ondas luminosas y halló que la velocidad de las ondas depende de la capacidad inductiva de un dieléctrico. A partir de entonces, los problemas se van a enfocar en la interacción entre la materia y la radiación.

Así, en la teorización de los fenómenos electromagnéticos, podemos encontrar tres elementos cruciales para configurar la física contemporánea. Los conceptos de campo y éter permiten restituir el principio de continuidad y un nuevo formalismo

elaborado en función de este. El mecanismo heurístico, usado por Maxwell, supone cierta convicción de su parte por la teoría de Newton, no obstante, las hipótesis electromagnéticas en el fondo no dependían de él. En ese sentido representan una ruptura parcial con este y su idea de acción a distancia.

3.3. Éter

El concepto de éter, íntimamente conectado con el desarrollo de la teoría electromagnética y con el concepto de espacio, como ya hemos dejado ver, fue crucial tanto para el desarrollo de la física del siglo xix, en particular para las teorías de las ondulaciones, como para entender las rupturas y continuidades con la física contemporánea.

Por un lado, a inicios del siglo xix Thomas Young sugiere que el calor y la luz son la misma cosa: una onda. Así mismo, Augustin Fresnel en 1815 presenta un artículo sobre la difracción de la luz en el que usa una "teoría de las vibraciones u ondulaciones". Los trabajos de Young y Fresnel resultan complementarios (como los de Faraday y Maxwell). Fresnel conceptualizó y matematizó las ideas de Young, que logran explicar fenómenos que tenían grandes dificultades con la teoría corpuscular (de emisiones), como la interferencia, la difracción y la polarización. En suma, Fresnel crea una teoría ondulatoria de la luz que posteriormente será interpretada a partir del electromagnetismo de Maxwell y la unificación con los fenómenos electromagnéticos, como vimos en el apartado anterior.

En este contexto, caracterizar al éter resulta central. En términos generales este es inmóvil, como ya mencionamos también, un espacio físicamente absoluto en el que las ondas luminosas están "congeladas", ya que el movimiento luminoso es la vibración del éter. Esto explica varios fenómenos que se habían conocido principalmente a través de la astronomía del siglo xviii sobre el comportamiento de la luz, como lo es la independencia de su velocidad respecto a la fuente. La velocidad de la luz solo depende de las características del éter y no de la fuente luminosa. Sin embargo, no se sabía a ciencia cierta qué ocurría con los cuerpos en movimiento (como la Tierra), ¿el éter era perturbado por los cuerpos que atraviesa y lo atraviesan? (Eisensteadt 2005 177).

El problema con esta pregunta es que había que dar cuenta de resultados obtenidos hasta entonces que eran contradictorios y eso complicaba el modelo requerido del éter. Por ejemplo, según los experimentos de François Arago interpretados por Fresnel (1818 58), "un mismo prisma refracta siempre la misma luz de la misma forma, cualquiera que sea el lado por el que entre", a saber, de forma independiente a su velocidad respecto a la Tierra, o sea que esta imprime su movimiento al éter que lo envuelve. No obstante, para explicar la aberración de las estrellas dicha tesis no funciona: si la Tierra perturba al éter y, por tanto, la velocidad de la luz, entonces la velocidad de la luz que nos llega de una estrella es constante en magnitud y dirección respecto a la Tierra, lo cual no explica la elipse de aberración que el movimiento terrestre implica, como ya se sabía en la época. Así, Fresnel concibe que "ni la Tierra ni los cuerpos opacos perturban de manera sensible el éter que atraviesan, pero los cuerpos transparentes sí lo perturban, comunicando una fracción de su velocidad" (Eisenstaedt 2005 177). De tal forma, aunque la Tierra y el prisma están en reposo entre ellos, no están en el mismo estado de movimiento respecto al éter, es decir, este es perturbado parcialmente con el prisma. Esto da cierta cuenta de lo complicado que resultó elaborar un modelo plausible sobre el éter.

En el fondo, el problema de Fresnel, que dominará todo el siglo XIX y permitirá el paso a la teoría de la relatividad, es el de la velocidad de la luz, es decir, el problema de entender si la velocidad de la luz es constante en todos los marcos de referencia inerciales o si se aplica la adición de velocidades como en la cinemática newtoniana. De conservarse la velocidad de la luz en todos los marcos, se abriría la puerta a una idea que era inconcebible en la teoría newtoniana: "que la luz tiene voz y voto en la cinemática" (Eisenstaedt 2005 179).[14]

Debido a lo anterior, muchos experimentos relacionados con la velocidad de la luz se realizarán durante el siglo XIX tanto para saber su valor con precisión, como para compararla en medios más o menos densos o si dependía de la velocidad de la fuente (François Arago, Hippolyte Fizeau, Albert Abraham Michelson, etc.). Dichos

[14] Esto implica que determina la estructura del espacio y del tiempo.

experimentos no se entenderán plenamente hasta 1905 cuando el postulado de la relatividad especial de Albert Einstein establezca que dicha velocidad es constante en el vacío independientemente de la velocidad de la fuente.[15]

Después de estos experimentos, que exigían una teoría que diera cuenta de los resultados de forma consistente, el éter perturbado de Fresnel parecía más que nunca ad hoc y presentaba muchas anomalías. En palabras de Fizeau en 1859:

> Ninguna de las teorías propuestas parece contar con la aceptación completa de los físicos. En efecto, ante la falta de nociones exactas sobre las propiedades del éter luminoso y su relación con la materia ponderable, ha sido necesario proponer hipótesis, y entre las que se ha planteado, algunas son más o menos probables, pero ninguna puede considerarse demostrada. (Fizeau 1859 349)

La oposición en relación con el éter entre George Gabriel Stokes y Fresnel es: ¿el éter es perturbado total o parcialmente? En este momento la cuestión es la influencia de la velocidad de la Tierra en los fenómenos ópticos. Hay que investigar las modificaciones que sufre la luz en su propagación y propiedades como consecuencia del movimiento de la fuente luminosa y el observador, nos dice Fizeau[16] (Eisenstaedt 2005 206). Se realizarán muchos experimentos de este tipo entre 1870 y finales del siglo. Entre ellos, el de Michelson y Morley.

No obstante, una parte de la comunidad científica se mostraba escéptica a propósito de la posibilidad de detectar el movimiento respecto al éter, que se había convertido, como dijimos antes, en el movimiento absoluto. Los experimentos de

---

[15] La comprensión plena del comportamiento de la luz no se completará sino hasta entrado el siglo xx cuando se desarrollen la relatividad general y la mecánica cuántica. En 1905 aparece el efecto fotoeléctrico que anunciará el regreso de la dualidad ondulatoria y corpuscular en el marco de la física atómica. Pero estos elementos van más allá del material que en este artículo pretendemos cubrir.

[16] Hay dos grandes tipos de estos experimentos, uno en el que la fuente, el detector y el aparato óptico que opera sobre una fuente luminosa están en reposo relativo y otro en el que alguno de estos tres elementos está en movimiento respecto a los otros.

Éleuthère Mascart (1872 180) son sobresalientes a este respecto ya que en ellos encuentra que

> […] el movimiento de traslación de la Tierra no tiene influencia apreciable sobre los fenómenos de óptica producidos por una fuente terrestre o por la luz solar, que dichos fenómenos no nos permiten apreciar el movimiento *absoluto* de un cuerpo y que sólo tenemos esperanza de observar los movimientos *relativos*.

Paralelamente, a principios de la década de los setenta, algunos experimentos muestran que no se podía detectar el movimiento a través del éter en ningún experimento con una fuente luminosa terrestre.[17]

Durante la década de 1880 los resultados experimentales no terminan de ser concluyentes, todo lo contrario: algunos soportan la idea de un éter totalmente perturbado (Stokes) y otros apoyan la teoría de uno parcialmente perturbado (Fresnel). Ninguna de las teorías explica satisfactoriamente el fenómeno de la aberración, y, de hecho, las dos teorías podían explicar las observaciones con cierta aproximación en el primer orden del cociente entre la velocidad de la fuente y la velocidad de la luz (v/c) y con algunas hipótesis adicionales. De hecho, Maxwell mostró que solo existía desacuerdo en efectos de segundo orden (v^2/c^2).

Finalmente, leyendo a Maxwell Michelson se convence que hace falta un examen más preciso que permita detectar la influencia de la velocidad de la Tierra sobre los fenómenos luminosos y de ahí surge su famosísimo experimento. Como es bien sabido, en él se hacen interferir dos rayos luminosos que no han seguido la misma trayectoria. La primera versión la llevó a cabo Michelson en 1881y la segunda con Edward Morley en 1886 y 1887 con una precisión mucho mejor, pero el resultado fue negativo. Aunque los autores no consideraron dichas observaciones concluyentes, no volvieron a realizar el experimento.

[17] Véase Eisenstaedt (2005 209).

En 1886 Lorentz publica un artículo titulado: "Acerca de la influencia del movimiento de la Tierra en los fenómenos luminosos", en el que propone una variante que usa la teoría de Fresnel con elementos de la teoría de Stokes, pero esto resulta poco convincente. Por lo que en 1890 propone una perturbación total del éter en la vecindad de la Tierra y finalmente otra con un éter inmóvil que tendrá mucho éxito (Eisenstaedt 2005 214-15).

Para terminar de complicar el panorama, después de que Maxwell elaboró la teoría electromagnética y Hertz detectó las ondas electromagnéticas, la óptica se convirtió en una rama de la electrodinámica y el éter devino, también, en la base de los campos eléctricos y magnéticos. Con ello, resultará muy difícil introducir la perturbación del éter en la teoría de Maxwell. A partir de entonces, y hasta la llegada de la relatividad, tanto Lorentz como Poincaré dominarán el escenario.[18]

Entre 1892 y 1895 Lorentz elabora una teoría en la que el campo electromagnético, descrito por Maxwell, es un estado del éter, fijo e indeformable. Esto hace que las ecuaciones sean invariantes en el primer orden en marcos de referencia inerciales para lo cual introduce un tiempo local y formal (una ficción) relacionado con el tiempo absoluto y luego formula la famosa "contracción" para explicar el resultado negativo del experimento de Michelson y Morley, "compensando" el desfase esperado en el recorrido de los brazos del interferómetro (que no se detectó). En particular, Poincaré se muestra muy crítico de la hipótesis y piensa que hay que encontrar un principio general que les haga salir del problema y de las hipótesis ad hoc.[19] En 1904 Lorentz publicará sus célebres transformaciones formalmente equivalentes a las de la cinemática relativista de Einstein, pero que están elaboradas todavía en términos del siglo xix: éter y toda una compleja dinámica del electrón. No obstante, su muerte está anunciada.

---

[18] Véase Eisenstaedt (2005 219).

[19] No obstante, su carácter ad hoc es controvertido. Si bien algunos apuntan que la hipótesis de la contracción es ad hoc porque fue elaborada exclusivamente para explicar el experimento, otros señalan que, una vez elaborada la teoría del electrón de Lorentz, la contracción se deriva de ella y pierde dicho carácter.

El éter permite dar cuenta de la continuidad espacial y toma el papel de marco de referencia privilegiado, pero luego se pierde propiamente como entidad, conservándose solamente la necesidad de la continuidad, ahora adjudicada a una entidad distinta: el espacio-tiempo relativista. En el siglo XIX se tenían dos tipos de espacio: el newtoniano absoluto, por un lado, que admitía el vacío con interacciones a distancia, y el de las ondas luminosas y electromagnéticas del éter, por el otro, que es un pleno con interacciones contiguas. Además, en el primero se usaba el principio de relatividad de Galileo Galilei (junto con sus respectivas transformaciones) y en el segundo no porque la velocidad de la luz es independiente de la velocidad de la fuente y las velocidades de los objetos en cuestión no se suman. ¿Cómo podría funcionar el principio de relatividad en corpúsculos que no son sensibles a la velocidad de la fuente que los emite? Esta es una problemática que los científicos decimonónicos no podían resolver y que probablemente los motivó eventualmente a aceptar la teoría de la relatividad junto con su espacio-tiempo.

3.4. Energía

La conservación de la energía se puede rastrear a un supuesto metafísico muy antiguo, quizá hasta Parménides, de que "el ser es ser siempre" (nada puede surgir de la nada), así como la relación entre causa y efecto (el efecto debe igualar la magnitud de la causa). Hay una constante búsqueda en las explicaciones de la naturaleza por encontrar lo que se conserva a través de los cambios, por la permanencia del ser. Ahora bien, en el fondo, la idea de la conservación está también intrínsecamente ligada a la unificación de la física, porque al encontrar lo que se conserva a través de los cambios encontramos el elemento que nos permite explicar a partir de un solo concepto dos aspectos "aparentemente" distintos de la realidad. Así, este supuesto conservador y unificador se encuentra en la base de muchas explicaciones, como la causalidad, y ha resultado muy prolífico, económico e intuitivo a lo largo de la historia de la ciencia.

No obstante, por un lado, este supuesto ha sido debatido a lo largo de la historia, lo que se manifiesta, por ejemplo, en la larga tradición ingenieril que se ha

propuesto construir máquinas del movimiento perpetuo. Por otro, a pesar de que la noción de la conservación puede ser muy intuitiva, no siempre ha resultado fácil encontrar qué es eso que se conserva.[20]

La señal más clara del desarrollo que llevará a la conservación de la energía y la consolidación de dicho principio ontológico puede encontrase en la física de Leibniz. Su principio de conservación de la vis viva representa un antecedente de la energía cinética y podemos encontrar en sus desarrollos físicos cierto germen de la energía potencial *vis mortua*, pero sin la posibilidad de intercambiabilidad y la falta de simetría, características de la mecánica clásica. Posteriormente, el desarrollo de los principios de mínima acción, para la segunda mitad del siglo xviii, constituyeron una formalización equivalente a dicho principio.

De tal forma, para el siglo xix podemos detectar tres grandes dominios que convergen, de una u otra forma, en la conservación de la energía: la mecánica, el calor y el electromagnetismo.

Young usó el concepto de *energía* para referirse al trabajo potencial acumulado en los objetos. Así, a lo largo del siglo xix se fue llegando a un conjunto de transformaciones que llevó a otros descubrimientos de conversión: eléctricos y magnéticos, eléctricos y caloricos, etc. Se encontraron paulatinamente vínculos entre química y calor, calor y luz, electricidad y química, etc. Nuevamente, notamos que el sueño de unificación guiaba el trabajo de los físicos decimonónicos.

Por otro lado, prevalecía la intuición de la imposibilidad del movimiento perpetuo y se tenían ya los conceptos de calor sensible y calor latente que anunciaban ciertas nociones de conservación de energía porque hay cambios de fase suponiendo la misma energía total. El ciclo de Carnot permitía explicar el funcionamiento de las máquinas que se empiezan a generalizar en una sociedad industrializada. Si bien dicha explicación presuponía la conservación del calor, entendida en términos del *flojisto*, es decir, como una sustancia que daba cuenta de la combustión, el ciclo daba cuenta de la conversión entre calor y trabajo.

---

[20] Recuérdese el debate entre Descartes y Leibniz sobre mv o mv^2 (Coopersmith 2015).

Para la década de 1840 ya hay una creciente apreciación pero no formalización de la energía, a menudo llamada fuerza, su conservación e interconversión, pero en procesos independientes (distintos dominios). Este es el ejemplo típico de lo que se llama un descubrimiento simultáneo (Kuhn 1982). Por un lado, Julius Robert Mayer, con influencia kantiana, establece que nada puede venir de la nada y que la causa es igual al efecto: por tanto, siempre que una fuerza es consumida, la misma cantidad de fuerza, posiblemente en otra siguiente, es generada. A partir de estas ideas, Mayer deriva el *equivalente mecánico del calor* algebraicamente de las leyes de los gases. Paralelamente, James Prescott Joule en su experimento con la rueda de paletas calculó *el equivalente* de forma independiente. Con ello infirió que la energía era un tipo de movimiento y no un tipo de sustancia.

Sin embargo, solo las ideas de Hermann von Helmholtz las que tuvieron la generalidad y el rigor requeridos para atribuirles la conservación de la energía. El médico y físico alemán, también con influencia de Kant, consideró la imposibilidad del movimiento perpetuo como una consecuencia de la ley causal. Sus experimentos tratan de mostrar que la fuerza mecánica y el calor producido por un organismo podrían resultar enteramente de su propio metabolismo. Más tarde generalizó este resultado para todos los procesos físicos. La clave de su desarrollo consiste en que elaboró la versión más general, matemática y moderna de su tiempo sobre la conservación de la energía, usando la dinámica, es decir, fundamentó la conservación de la energía en la propia mecánica.

3.5. Entropía

La mecánica estadística es una teoría que nació de modificaciones hechas a la teoría cinética de los gases. En esta (primero formulada por Daniel Bernoulli en 1783, después por Nicolas Sadi Carnot a principios del siglo xix y posteriormente desarrollada por Rudolf Clausius, William Thomson Kelvin, James Clerk Maxwell y Ludwig Boltzmann a lo largo de ese mismo siglo), se asume que los gases están constituidos por moléculas y que las propiedades del sistema están determinadas, a su vez, por

las propiedades de esas moléculas. Por ejemplo, para medir la presión ejercida sobre las paredes de un contendor con gas, el modelo cinético asume que todas las moléculas tienen la misma velocidad, y que cada tercio de moléculas se mueve de forma paralela a cada uno de los ejes del plano cartesiano. La presión se mide, entonces, adjudicando probabilidades a los estados de movimiento de las moléculas.[21] El giro estadístico mecánico llega cuando las probabilidades, que antes se predicaban de un estado de movimiento de *cada* molécula, se transforma en una propiedad del estado del *sistema entero* del gas.

La mecánica estadística evolucionó de tal forma que, eventualmente, se separó en dos tradiciones distintas: la tradición de Boltzmann y la de Josiah Willard Gibbs. Aunque hoy en día es posible identificar dentro de la comunidad científica los defensores de cada tradición, la actitud más común es usar una u otra dependiendo de lo que resulte más conveniente para el problema que se desea resolver. Para nuestros propósitos, es importante señalar las diferencias entre las dos tradiciones, ya que Gibbs propuso un concepto de entropía distinto al de Boltzmann.

Para explicarlos debemos definir lo que es un "sistema dinámico", a saber, una representación matemática de una función que describe la trayectoria de un punto (o un conjunto de puntos) en un espacio abstracto conocido como el espacio fásico. Cómo se define el espacio fásico y cuál es su significado físico depende de la aplicación particular. Se toma en cuenta, por ejemplo, si el sistema está aislado energéticamente.

En el enfoque boltzmanniano, el microestado instantáneo de un sistema dinámico es representado por un único punto en el espacio fásico. El valor de una propiedad termodinámica del sistema (como la presión) está representado por ese solo punto en dicho espacio.

En el enfoque gibbsiano, en cambio, el objeto de estudio no es un único sistema, sino un conjunto de sistemas preparados de manera idéntica. El estado de cada uno de los sistemas que pertenecen al conjunto es representado por un punto en el

[21] Véase Ehrenfests & Ehrenfest (1959 4).

espacio fásico y su evolución se representa por áreas o "manchas" que van cambiando de forma. Cuando el número de sistemas es lo suficientemente grande, el espacio fásico estará habitado, por tanto, por una distribución de densidad que proveerá información acerca de la probabilidad de que un punto caiga en la región de ese espacio.

Hablemos ahora de la segunda ley de la termodinámica y del concepto de entropía que se ve involucrado en ella desde los puntos de vista de Boltzmann y Gibbs. La entropía, grosso modo, es una propiedad proporcional a la cantidad de estados distintos en los que puede encontrarse un sistema dinámico. Si tenemos una molécula grande, digamos, en un contenedor muy pequeño, son muy pocas las posibles posiciones que esas moléculas ocuparán (pensemos, por ejemplo, en cómo se vería una pelota en una caja en la que apenas cabe). Si, en cambio, soltamos cuatro moléculas pequeñas en un enorme contenedor, sus posiciones y velocidades tendrán muchas más posibilidades de cambiar. En términos de la entropía, eso se traduce a que el sistema de la molécula sola tiene una entropía diminuta (con una única posición y una única velocidad posibles), mientras que la entropía del sistema de las cuatro moléculas pequeñas será exponencialmente más grande.

Ahora consideremos un contenedor en el que hemos liberado un poco de gas de color rojo con miles de moléculas. Lo que esperamos que suceda, de manera natural, es que este se esparza por todo el contenedor hasta que no podamos encontrar zonas con concentraciones de gas más notables. En otras palabras, las moléculas tenderán a desordenarse y no a acomodarse todas en una misma esquina o en el centro. Esto significa que la entropía tenderá a aumentar.

Observando este comportamiento en los gases, los físicos decimonónicos establecieron la segunda *ley de la termodinámica*, según la cual la entropía de un sistema (aislado energéticamente) nunca puede disminuir, solamente crece y, una vez que alcanza el equilibro, se mantiene constante.[22]

[22] En su versión fenomenológica, la entropía también se asoció con la disipación de energía en un proceso en el que esta se transforma debido a que da cuenta del nivel de irreversibilidad alcanzado.

La primera vez que la palabra "entropía" apareció en un principio termodinámico fue cuando Clausius propuso, en 1879, la siguiente formulación de la segunda ley: "La entropía del universo tiende a un máximo" (el concepto denotaba el carácter direccional de los procesos físicos). En el mismo año Planck (citado en Uffiink 2004 92) propuso otra formulación similar: "Para todos los procesos en el universo, el total de entropía de los sistemas involucrados nunca disminuye, y por lo tanto todos los procesos son irreversibles".

Fue Boltzmann quien dirigió la atención hacia los gases, y no al universo en su totalidad, cuando probó que un contenedor de gas con moléculas esféricas, aislado energéticamente, pasaría la enorme mayoría del tiempo en microestados cercanos al equilibrio. En otras palabras, probó que las moléculas pasarían la mayor parte del tiempo distribuidas uniformemente en todo el contenedor y no concentradas en puntos específicos. La descripción de Boltzmann, explicada de otra manera, consiste en dividir mentalmente el contenedor en celdas y calcular el número de partículas por celda. El valor máximo de la entropía se obtendrá cuando el sistema alcance el equilibrio.

Con ello quedó claro que definir la entropía involucraba niveles diferentes de descripción y una variedad de aspectos, como el enorme número de componentes en un sistema termodinámico, la permutabilidad de componentes idénticos, la dinámica de un sistema aislado, la incertidumbre, la información y el control experimental. Además, resulta novedoso que en la física aparezcan leyes estadísticas.

Ante este panorama, el filósofo de la ciencia Rudolf Carnap encontró algunos fallos lógicos en los conceptos de entropía que proponían Boltzmann y Gibbs. Según él, la entropía se podía entender o bien como un concepto subjetivo epistemológico, o bien como un concepto físico objetivo, y él, claramente, se decantaba por esta segunda opción de la objetividad física de la entropía. Es decir, la entropía debía ser como la presión o el calor que sirven como una caracterización cuantitativa de una propiedad objetiva de un estado de un sistema físico. Así, según Carnap, los conceptos termodinámicos debían tener contrapartes definidas en términos de la teoría microscópica. Por ello propuso el siguiente *Principio de las magnitudes físicas*: "Si una cantidad física recibe un valor, en un tiempo dado, por una descripción gruesa,

entonces una descripción fina del mismo sistema en ese mismo momento, debe adscribir un valor compatible a la cantidad" (Carnap 1977 34, traducción propia).

Así, lo que Carnap propuso fue igualar la entropía microscópica con la macroscópica, defendiendo que la entropía macro refleja la "falta de información", mientras que la descripción física genuina sería la microscópica.

El problema era que había muchas entropías termodinámicas dependiendo de los parámetros que se eligieran. Era inaceptable, desde la perspectiva de Carnap, que el valor de la entropía dependiera del tamaño que un sujeto decidiera dar a las celdas imaginarias en un contenedor de gas. Dados los valores epistemológicos que Carnap defendía, para él era necesario que una propiedad objetiva tuviera una sola referencia y que su valor no dependiera del instrumento matemático aplicado. Carnap sugirió que puede conformarse con una especie de "ley de los grandes números", en la que se puede confiar en el resultado y no dejar todo al azar.

El logro principal del ensayo de Carnap es la formulación de un concepto de entropía con base en las moléculas y los ambientes que las rodean, un concepto que reemplaza la combinatoria por la geometría. Carnap pone sobre la mesa, así, un mecanismo objetivo para definir la entropía, sin subjetividades del agente epistémico.

3.6. Materia

Finalmente, hace falta dedicar una última sección a las teorías atómicas y algunas problemáticas que de ellas emanaban. No detallaremos cómo se construyó la teoría de la mecánica cuántica, ya que ello corresponde propiamente al inicio del siglo xx, pero sí enunciaremos los principales problemas que se presentan a finales del xix en torno a las partículas subatómicas y su comportamiento. Así mismo, anunciaremos brevemente algunos cambios que se darán en la física atómica dado que esto nos permitirá analizar la transición de la física clásica a la contemporánea.

Para finales del siglo xix los físicos están cada vez más convencidos de que la materia está constituida por átomos, modelados como partículas descritas mediante la mecánica newtoniana, que a su vez da cuenta tanto de los movimientos de los

objetos en el marco espacio-temporal de forma continua, como de su evolución dinámica aplicando los principios de conservación de la energía o la cantidad de movimiento. Se sabía ya que en el átomo había cargas positivas y negativas, dado que la materia es eléctricamente neutra, pero no se sabía su configuración precisa.[23] Paralelamente, como hemos visto, se consolida el modelo ondulatorio de la radiación, concibiéndose estas dos entidades, ondas y partículas, como ámbitos separados de la realidad. No obstante, en ambos casos se comparten supuestos de realidad básicos que han guiado todo el desarrollo de la ciencia moderna. Estos principios se refieren a la continuidad de los procesos físicos que permitía garantizar las conexiones causales entre eventos, al igual que los ideales de determinismo y objetividad sobre los que se edificó la física clásica. Esta constituye un marco en el que los sistemas existen y evolucionan de forma continua en el espacio y en el tiempo. Además, todo objeto en un sistema tiene propiedades definidas, sean estas observables o no, de tal forma que dichos sistemas (y sus objetos) pasan por estados únicos y definidos.[24] Finalmente, dentro de este marco de descripción se considera que el comportamiento de los sistemas clásicos está sometido al principio de causalidad (determinista), según el cual, si conocemos las condiciones iniciales de un sistema, podemos predecir su comportamiento en todo instante futuro (Hernández 2021 20).

No obstante, como en los otros casos, es posible vislumbrar ya en este momento algunos de los problemas y tesis incipientes que darán lugar a la controvertida mecánica cuántica. Por un lado, como radiación y materia son modeladas con entidades distintas, la onda y la partícula, es necesario dar cuenta de la interacción entre ambas, algo que se muestra con particular énfasis en el caso de la termodinámica. Por ejemplo, los intentos por elaborar una bombilla eficiente motivaron los modelos de la relación entre energía y temperatura, que no terminaban de ser satisfactorios con el electromagnetismo de Maxwell.

---

[23] No es hasta 1911 cuando Rutherford propone el modelo del núcleo, en analogía a un sistema solar, como producto de sus experimentos en los que bombardea con partículas alfa una lámina de oro.

[24] Por ejemplo, una partícula no puede tener dos posiciones en el mismo instante, pero tendrá una posición definida en cada momento.

Por otro lado, la necesidad de encontrar un modelo del átomo satisfactorio que explicase las propiedades generales de la materia y los diferentes elementos de la tabla periódica constituía otro foco de atención. Aunque la mecánica estadística servía para dar cuenta del comportamiento de estos en grandes cantidades, como en la cinética de gases, en su mayoría los físicos estaban convencidos de que cada uno de estos átomos tenía una estructura y comportamiento que podía ser explicado en términos de las leyes clásicas del movimiento. Sin embargo, estos dos desarrollos derivaron, por un lado, en el surgimiento de la primera hipótesis cuántica en 1900 por parte de Max Planck, en la que proponía un comportamiento discontinuo de la radiación (en contra del modelo ondulatorio), y que culminaría veinticinco años después en la nueva teoría cuántica; por otro lado, explicar la dinámica del electrón llevó a la nueva cinemática de la luz: la relatividad especial y más tarde a la general.

En particular, la teoría cuántica terminará no solamente con la clara distinción que se había consolidado en el siglo XIX entre radiación en términos de onda y la materia en términos de partícula, sino que romperá, en el nivel intraatómico, con los principios de determinismo, causalidad y objetividad clásicos, obligando a una de las revoluciones epistémicas más grandes en la historia de la ciencia. Una primera e incómoda consecuencia de la teoría atómica es la inherente incertidumbre. Como es sabido, el principio de Heisenberg estableció que no podrían determinarse simultáneamente los valores de todas las propiedades cuánticas y que estas dependían del dispositivo de medida. Adicionalmente, las descripciones de la mecánica cuántica estándar eran inevitablemente probabilísticas, se referían a conjuntos de partículas y dejaban "indeterminadas" las propiedades de cada una de las partículas en los tiempos anteriores a la medición.[25]

[25] La pérdida del determinismo y la objetividad clásica en las descripciones cuánticas fueron dos aspectos que Albert Einstein nunca pudo tolerar. Él estaba convencido de que la teoría estaba incompleta y que debía reemplazarse por otra mejor. Para Einstein, los objetos cuánticos, al igual que los objetos macroscópicos, debían tener propiedades bien definidas independientemente de que fueran medidas o no. En el caso de las partículas subatómicas, sin embargo, solo es posible determinar qué propiedad tienen en el momento de la interacción partícula-aparato, pero no se puede conocer el estado anterior a la medición. La interpretación de Copenhague se conformó con hacer descrip-

Así, la nueva concepción de la estructura atómica del siglo xx trae consigo una transformación del *objeto*.[26] Mientras el objeto clásico era localizable en el espacio y en el tiempo, real, perceptible y tenía propiedades definidas, el nuevo objeto cuántico, desde la interpretación de Copenhague, estaba parcialmente indeterminado y solamente podía conocerse su posición bajo el precio de perder información sobre otras propiedades. Adicionalmente, Niels Bohr defiende la dualidad onda/partícula, según la cual el comportamiento de los objetos cuánticos será ondulatorio o corpuscular, dependiendo de la interacción que se tenga con ellos. Con esto se acepta por primera vez en la historia de la física que la naturaleza de la materia es contingente y complementaria.

En la siguiente sección nos disponemos a analizar si las problemáticas aquí planteadas se pueden entender como inadecuaciones de la tipología de Shapere.

4. Aplicación de la tipología de shapere a los problemas de la física del siglo xix

Iniciaremos esta sección con un breve comentario sobre cómo los problemas que hemos estado discutiendo tienen implicaciones en la definición de los dominios de la ciencia. Decíamos en la introducción que, para Shapere, los problemas planteados por los científicos van definiendo los dominios de la ciencia al agrupar elementos que resultan relevantes para resolverlos y establecer las preguntas que resultarán legítimas en una comunidad científica particular. Cabe preguntarnos, entonces, si las problemáticas de finales del siglo xix y principios del xx eran exclusivas de algunas áreas específicas de la física, o si provenían más bien de la matemática, o si había problemas compartidos.

---

ciones probabilísticas. Schrödinger diseñó la paradoja del gato para señalar que la interpretación de Copenhague iba en contra de todas las intuiciones establecidas por la física clásica (para más detalles, consultar Rioja, 1989).

[26] Véase Rioja (1989 103-107).

Para las autoras es claro que existía un dominio "físico-matemático" en el que especialistas de ambos gremios trabajaron de manera cooperativa (o al menos coincidente) para resolver preguntas que les resultaban de interés a todos. Es un hecho que existían planteamientos conjuntos y que, dicho sea de paso, también había expertos, como Poincaré, Lagrange y Laplace, que tenían formación profesional en ambas áreas. A este respecto, resulta conveniente hacer una observación de carácter disciplinar: a diferencia de lo que ocurre a partir del siglo xx, en el xix los físicos en general no tenían una formación matemática tan amplia y especializada. Por ello, resulta patente que hay un conjunto de posibilidades físicas que resultan más claras primero para los matemáticos y más tarde para los físicos, como es el caso de la posibilidad de una estructura del espacio físico con una geometría curva o con más de tres dimensiones.

Si bien, como hemos dicho, en el siglo xix la demarcación de la física y las matemáticas era más clara que ahora, había un conjunto de problemas que se encontraba en la intersección del dominio de ambas o que comenzó en el dominio matemático y fue transitando al físico. Estos problemas eran resultado del proceso de matematización de la física iniciada por la tradición newtoniana y, por otro, anunciaban una era con herramientas mucho más sofisticadas.

Esto no implica, claro está, que cada gremio no tuviera adicionalmente preguntas propias. Por ejemplo, los físicos se preguntaban: ¿debemos reemplazar la noción de espacio absoluto? ¿Hay acción a distancia? ¿Se puede construir una teoría unificada de la electricidad y el magnetismo? ¿Qué se conserva en los procesos de cambio? ¿El éter es el medio de propagación de la radiación? ¿Por qué el principio de relatividad no se cumple en la teoría electromagnética? ¿El éter afecta el movimiento del resto de los cuerpos? ¿El éter lumínico es el mismo que el de las ondas electromagnéticas? ¿El calor y la luz son la misma cosa? ¿Se puede construir una máquina del movimiento perpetuo?

Como anuncia Shapere, la problemática de la física del siglo xix guía un conjunto de problemas, como los que hemos mencionado, en torno a un cuerpo de información que resulta particularmente transitable e *intersectable* con otros. En este sentido, el éter sería dominio de la mecánica al ocupar un marco de referencia pri-

vilegiado, pero también lo sería del electromagnetismo al ser el medio en el que se propagan las ondas. El calor se va convirtiendo en dominio de la mecánica, pero también lo es de la termodinámica o el electromagnetismo. Al mismo tiempo, algunas de las respuestas a dichos problemas llevarán al ocaso de conceptos y modelos, como el caso del éter y del espacio absoluto, y otras abren tímidamente la puerta al cambio de la física del siglo xx, como el caso del principio de relatividad, la distinción entre materia y energía, la geometría del espacio o la contigüidad del campo. Veremos cómo los conceptos físicos comienzan a tener un giro operacional en el que se pretende eliminar cualquier consideración metafísica de ellos, lo cual, comenzando a articularse más incipientemente durante el siglo xix, resultará crucial para la física del xx.

A este respecto, en relación con los conceptos que hemos explorado, veamos cómo varias preguntas que guían la investigación, como la del espacio, se van modificando en un sentido operacional: debido a sus dificultades para ser detectado empíricamente, los físicos comienzan a dudar de la realidad del espacio absoluto y con él de la idea intuitiva de ese gran contenedor independiente y pasivo en el que debía ocurrir todo. Eso debilitará, poco a poco, el concepto de espacio absoluto. Pero además de su debilitamiento, debido a que solo se conserva como un representante simbólico, el hecho de que en la teoría electromagnética no se cumpla el principio de relatividad clásico de Galileo genera un problema de consistencia teórica entre esta y la mecánica, justificado en principio por la presencia del éter, pero que también fracasa al no poder ser detectado. Eso hace que el dominio tenga un problema de coherencia durante el siglo xix (uno con marco de referencia privilegiado y otro sin él) lo cual corresponde a una inadecuación del tipo *Ic*, relacionado con la coherencia del dominio según la tipología de Shapere. Este hecho resultará crucial para físicos como Poincaré, Lorentz y, particularmente, Einstein, quien se propone unificarlos, para lo cual debería extinguir ambos conceptos.

Adicionalmente, si en 1905 surge una nueva cinemática de la luz, incompatible con la teoría newtoniana, para Einstein queda claro que es necesario completarla con una nueva teoría de la gravitación (para marcos de referencia no inerciales) y, entonces, se consolida la posibilidad de que el espacio físico sea curvo, de más dimen-

siones y vinculado al principio de contigüidad proveniente de la teoría de campos. Así, con el surgimiento de la teoría general de la relatividad a inicios del siglo xx se alcanza la consistencia teórica, *completud* (excepto en el dominio atómico), éxito y unidad en las explicaciones sobre los fenómenos gravitatorios.

Por otro lado, la comprensión de la luz se consolida a través de la teoría ondulatoria de Young y Fresnel (recordemos que hasta el siglo xviii conviven los dos modelos de forma inconsistente, aunque predomina el corpuscular), pero además esta se unifica en la segunda mitad de siglo xix con la teoría electromagnética de Maxwell. Paralelamente, Young ha sugerido que calor y luz son una misma entidad ondulatoria, lo cual, de nuevo, implica una gran unificación de dominio. Al mismo tiempo, está el desarrollo de la termodinámica, la mecánica estadística y el concepto de energía, que ya no requiere del concepto de onda, sino que se fundamenta a partir de la mecánica por parte de Helmholtz, y que da cuenta de otro hilo unificador.

Encontramos fundamental el proyecto de la unificación de la física como elemento heurístico de este desarrollo, que, si bien será exitoso para dar cuenta de la electricidad, el magnetismo y la naturaleza de la luz, finalmente quedará como secundario o pendiente a raíz del surgimiento de la cuántica y la relatividad. Es curioso notar que el sueño de la unificación funcionó como un motor para las construcciones teóricas de la física del siglo xix y, llegado el siglo xx, se frustró cuando la relatividad y la mecánica cuántica resultaron incompatibles.[27] Sin embargo, cada una de estas teorías por separado, cuántica y relatividad, fue lo suficientemente potente a nivel predictivo y explicativo como para que ambas se afianzaran y formaran piezas esenciales de la ciencia hasta el día de hoy.

Entonces, por un lado, tenemos que hay una gran unificación de la óptica, el calor y el electromagnetismo a través del modelo ondulatorio (que cumpliría con las características de un dominio coherente y completo). Sin embargo, un concepto crucial de este dominio es el éter. Paradójicamente, este rompe con un principio básico

[27] En el sentido de que la mecánica cuántica acepta la transmisión instantánea de información entre sistemas alejados, por el colapso ocasionado en una medición, mientras que la teoría de la relatividad especial establece que nada puede superar la velocidad de la luz

de la mecánica, a saber, el principio de relatividad, y personifica el espacio absoluto (inadecuación de tipo iiia, relacionado con la consistencia teórica). Visto retrospectivamente, las teorías del éter que intentaban explicar el comportamiento de la luz se tornaban complejas, a veces incomprensibles, y además eran incompatibles con el principio de relatividad. Todo ello preparó el camino para una nueva cinemática de la luz. La imposibilidad de detectar al éter y la constancia de la velocidad de la luz darán paso a la teoría de la relatividad, de la que Poincaré y Lorentz ya estaban a medio paso (el primero ya había negado el espacio absoluto y el segundo tenía las transformaciones correctas para la relatividad). Pero la interpretación acertada solo la tuvo Einstein: fue él quien logró extender el principio de relatividad basado tanto en las transformaciones de Lorentz, como en consideraciones cinemáticas que no dependían de las electromagnéticas.[28] En consecuencia, a diferencia de Lorentz, Einstein elabora una interpretación realista de las magnitudes obtenidas por dichas transformaciones, i.e. la dilatación del tiempo y la contracción de las longitudes, características que constituirán un espacio-tiempo que ni Lorentz ni Poincaré lograron idear. Por otro lado, la mecánica da fundamento a la termodinámica, pero entra en crisis en relación con la cinemática de la luz, con el principio de relatividad.

Sin embargo, aunque Shapere no nos habla de valores epistémicos, aquí la simplicidad jugó un papel fundamental para decantarse entre la teoría de Lorentz[29] y la de Einstein, porque siguiendo el criterio de Shapere ambas son exitosas (dan cuenta de los mismos fenómenos), consistentes y completas (el formalismo es el mismo), por lo que el criterio de elección entre teorías que Shapere proporciona resulta insuficiente (al menos hasta la teoría general de la relatividad).

No obstante, puede resultar útil para el análisis notar que, según Shapere, las teorías del éter presentarían una inadecuación de éxito teórico (*ii*) porque los físicos de finales del siglo xix nunca lograron especificar sus características de manera pre-

[28] Véase Sánchez (1985 86-91).

[29] La teoría de Lorentz interpreta sus transformaciones a partir de su dinámica del electrón, usando los conceptos de espacio absoluto y éter.

cisa y eso fue generando una crisis del concepto. El modelo del éter, como vimos, sostenía el sistema de las ondulaciones, lo cual complicó su capacidad explicativa porque debía dar cuenta de experimentos que hasta el momento daban resultados en tensión (con arrastre, sin arrastre en otros casos, como un fluido, pero que permita viajar a las ondas a la velocidad de la luz, como un gas, etc.). Además, cuando se unifican los dominios hay que integrar al éter en la teoría de Maxwell y eso no resultó fácil (*IIIa*, sobre consistencia teórica), lo cual deriva en que el éter se vaya convirtiendo en una entidad "poco realista" (*IIIc*, sobre afirmaciones de la realidad).

Otra propuesta científica que también padece de esa inadecuación es el modelo mecánico de Maxwell. El mecanismo que construye para llegar al formalismo electromagnético (molinos, tuercas, engranajes) muestra su compromiso con la física newtoniana: está apelando a lo que Shapere llama la comparabilidad interteórica (*IIId*), porque es probable que el físico intentara construir una teoría de campo que fuera compatible o hasta derivable de la teoría de Newton (a diferencia de Faraday). Si bien dicho modelo cumplió un poderoso papel heurístico para que Maxwell llegara a sus ecuaciones electromagnéticas, resultaba poco realista, según la clasificación de Shapere (*IIIc*). La ventaja del modelo del éter mecánico de Maxwell es que tiene continuidad con la mecánica de Newton o, más estrictamente, con el mecanicismo que proviene de su tradición, porque no rompe explícitamente con ella (si bien el mecanismo de los remolinos es heurístico, Maxwell no era realista hacia él). En otras palabras, el éter maxwelliano nos permite narrar una transición más suave entre siglos.

Paralelamente, vimos que el concepto de campo surge con la motivación de resolver una anomalía que se quedó en el tintero desde el surgimiento de la teoría newtoniana, es decir, nace con la motivación de recuperar el principio de continuidad de Leibniz. El hilo argumentativo que siguen las líneas de fuerza de Faraday muestra la ruptura de la acción a distancia, que en el fondo es un compromiso ontológico análogo al de la conservación de la energía y que Maxwell logra expresar matemáticamente, en términos de Shapere, con gran éxito teórico (caso *II* de la clasificación de Shapere). Vemos que el campo se convierte en la causa de la acción: la expresión epistemológica del mismo supuesto ontológico (proveniente de Leibniz y Kant).

Como resultado, durante el siglo XIX terminan por establecerse dos ontologías distintas para los dos dominios, el campo y las ondas para explicar la radiación, y la partícula para la materia, cada uno con sus principios epistémicos y sus leyes. No obstante, esto es justamente lo que será superado con la mecánica cuántica, como ya anunciamos, pues a partir de la dualidad entre onda y partícula, tanto para la radiación como para la materia, dicha distinción se desdibuja. Precisamente a partir de la problemática de la interacción entre radiación y materia (el problema del cuerpo negro) surgirán las primeras hipótesis cuánticas, que derivarán en la física atómica. De tal forma, si durante el siglo XIX se separan los dominios de la radiación y la materia, luego se unirán de nuevo en la mecánica cuántica,[30] además de que se separarán de la física relativista (válida para altas velocidades) y de la tradición clásica en general.

Al mismo tiempo, la unificación de dominio que señala Shapere también resulta crucial para elaborar la conservación de la energía. Hay un claro proyecto de unificación que se manifiesta por diferentes vías en el siglo XIX y la pregunta es cuál es el concepto fundamental que dará cuenta de ello. Existe, durante dicho siglo, una fuerte tendencia a que sea la energía y esto suscita un conjunto de preguntas en torno a esta: ¿qué es lo que se conserva?, ¿qué es la energía (ontológicamente)?, ¿cuál es la diferencia entre fuerza y energía? Pero su elaboración supone, por un lado, que se fundamente en la mecánica newtoniana, lo cual es un elemento de continuidad con la física ya conocida, y, por otro, que se comience a abandonar una ontología sustancialista por otra más relacional: resultando más una abstracción o isomorfismo que un "algo concreto" que se conserva. Esto también anuncia un proceso que dominará la física del siguiente siglo: la presencia de entidades teóricas sin referencia clara, es decir, sin correspondencia con un objeto específico en la realidad.

---

[30] Cabe mencionar que más tarde se desarrollarán también la mecánica cuántica relativista, la teoría cuántica de campos que dio origen a la electrodinámica cuántica (QED), la cual da cuenta de la interacción entre materia y radiación. No obstante, este desarrollo ocurrió ya bien entrado el siglo XX, que va más allá de nuestro objetivo de estudio en este trabajo.

La discusión sobre la energía se mantendrá abierta durante el siglo xx.[31] De nuevo, predominan conceptos operacionales, funciones y experimentos más que sustancias concretas: vemos el advenimiento de una física cada vez más abstracta (matemáticamente) que dificulta una interpretación física según nuestro sistema intuitivo y un realismo de sentido común (esto es evidente en el caso de la cuántica y de la relatividad).

Por otro lado, en relación con el surgimiento del concepto de entropía, comentamos que Rudolf Carnap se encontraba incómodo con el hecho de que existiera una variedad de definiciones incompatibles. Además, cada definición implicaba una manera de medir la entropía, sugiriendo una falta de objetividad. ¿Qué tipo de problema sería este según Shapere? Claramente estamos hablando de un dominio específico: el de la mecánica estadística. Hay un fenómeno definido y un conjunto de ítems identificados. Lo que importaba a Boltzmann, Gibbs, Kelvin y Clausius era el comportamiento de los sistemas dinámicos del universo, en particular aquellos implicados en las máquinas, la generación de trabajo mediante la inyección de energía y, muy específicamente, el comportamiento de los gases. Este dominio, con raíces en la termodinámica, no tiene problemas de *completud* (I.a de la clasificación de Shapere), dado que la lista de objetos de estudio no tiene huecos. Se conocen los gases bajo escrutinio y no existen dudas respecto a su naturaleza. Lo que presenta este dominio es una inadecuación del tipo *I.b* (descripción del dominio, según la clasificación de Shapere), a saber, que los científicos expertos en el área no se habían puesto de acuerdo respecto ni a las técnicas matemáticas, ni a las técnicas empíricas para determinar la manera de medir una cantidad llamada "entropía" y la definición del concepto ligada a dicha medición. Ello reflejaba el conflicto interno (del tipo *III*.a) ya que era exitoso experimentalmente, pero había al menos dos marcos teóricos alternativos para explicar el comportamiento entrópico: el de Boltzmann y el de Gibbs.

[31] Véase Feynman (1966 699-708).

Ambas descripciones se consideran útiles pasando al siglo xx. No se toma una como más fundamental que la otra, ni se considera que una sea mejor candidata para dar cuenta del sustrato microscópico que subyace a las mediciones estadísticas. En el caso de Boltzmann, se considera un único sistema, en el caso de Gibbs, se considera un conjunto de sistemas idénticos, pero ambas son propuestas estadísticas que demostrarán ser útiles. Una vez más vemos la tensión entre una actitud pragmática y una búsqueda de unificación en las teorías físicas.

Vemos que Carnap defiende los valores epistémicos que se habían afianzado desde la física clásica. Aboga, con el mismo estilo positivista de Auguste Comte, que la ciencia debe estar fundamentada únicamente en la observación y debe evitar postular entidades cuya comprobación empírica sea inaccesible. Cabe mencionar que, a pesar de las críticas de Carnap, en la física del siglo xx se siguieron utilizando las concepciones entrópicas de Boltzmann y de Gibbs. La física transitó a concepciones estadísticas, muy a pesar de Carnap y de otros grandes pensadores —entre ellos Max Plank— que se resistían al cambio.

Carnap se aferró al determinismo y a las descripciones completas de los sistemas, al igual que hacía Einstein con la teoría cuántica, ambos científicos renuentes a conformarse con las descripciones estadísticas o probabilísticas como inherentes a la naturaleza. Carnap conocía las distintas interpretaciones de la probabilidad (propensiones, frecuencias, estimaciones subjetivas sobre la posible ocurrencia del evento) y rechazaba particularmente las que implicaban subjetividad. En la tipología shapereana nos parece que esta insistencia por abrazar el determinismo y la objetividad, tanto en Carnap como en Einstein, responde a un problema del tipo *III.d*, ya que se busca que las teorías científicas en construcción cumplan con las mismas características de las teorías físicas establecidas previamente.

Por último, resulta interesante mencionar el problema de la *completud* de la mecánica cuántica. En la tipología de Shapere, las "inadecuaciones por *completud* teórica" (*III.b*) consisten en dudas respecto a la mejor formulación de la teoría. Es indudable que el propio Shapere se inspiró en la mecánica cuántica para incluir este tipo de problemas. Más específicamente, el debate de la teoría cuántica giró en torno al tema de la *completud* cuando Einstein acusó a la teoría de estar incompleta, entran-

do en diálogo confrontado con la Escuela de Copenhague. Es bien sabido[32] que para Einstein los objetos de la física debían tener magnitudes bien determinadas y bien definidas, y si la mecánica cuántica no era capaz de calcular esto con certeza, entonces era una teoría incompleta. La Escuela de Copenhague, por otro lado, sostenía que no era necesario *comprometerse con la existencia* de las propiedades antes de realizar una medición y, por tanto, el nuevo objeto físico debía concebirse junto con el acto de observarlo. Así, vemos que la mecánica cuántica podría caer en inadecuaciones de afirmaciones sobre la realidad (*III*c). No obstante, existe cierta circularidad en tal debate, ya que en el fondo de la disputa está justamente la propia definición de realidad física.

5. Transición de la física clásica a la física cuántica en términos shapereanos: consideraciones finales

Recordemos que en la introducción a este artículo las autoras planteamos dos cuestionamientos: ¿qué problemas quedaban sin resolver en la física clásica y se solucionaron con la física contemporánea? y ¿qué otros elementos, además de la eliminación de una anomalía, determinan las transformaciones en la física del cambio de siglo xix al xx? Aunque consideramos que el análisis presentado en la sección 3 ya ha respondido implícitamente, nos gustaría explicitar en esta sección los problemas y elementos que logramos identificar.

Si Dudley Shapere tiene razón, las teorías físicas contemporáneas deben ser capaces de resolver las inadecuaciones que dejaban irresueltas las teorías físicas clásicas. A lo largo de este artículo hemos tomado esta afirmación como una hipótesis de investigación y ha llegado el momento de ver si es cierta o no.

En definitiva, podemos separar el proyecto unificador del siglo xix en cuatro grandes aspectos interrelacionados: por un lado, el electromagnetismo y la energía, por el otro, el mecanicismo y la matematización en campos que en el siglo xviii no lo

[32] Véase, por ejemplo, Rioja 1989 98-106.

estaban, como el calor. Si bien el término "mecanicismo" era equívoco, siempre jugó un papel unificador al fundamentar diversos dominios, al menos como elemento heurístico. En este sentido, y como hasta ahora, esta idea ha permanecido solo como un proyecto metafísico con cierto éxito. A este respecto resulta útil seguir a Harman cuando dice que es equivocado pensar que la física clásica formaba una visión monolítica y unificada de la realidad física, y que cabe distinguir entre esta y la física newtoniana (Harman 1982 11). Pues si bien el mecanicismo y la visión matemática de los fenómenos físicos tienen su origen en Newton, la física clásica del siglo xix derivó en un cuerpo explicativo mucho más complejo y vertebrado que terminó por superarlo.

Como resultado, en la física contemporánea se generan dos cuerpos teóricos aparentemente incompatibles respecto al tema de la máxima velocidad de transmisión de información: la relatividad general y la cuántica, aunque los dominios separados en el siglo xix de la materia y la radiación vuelven a unirse. ¿Qué hace entonces que el abandono de la física decimonónica sea posible? Veamos: lo que sí logra unificar la mecánica cuántica, en particular la complementariedad o dualidad onda/partícula entendida a la Bohr, es la doble naturaleza de la luz y la materia. Adicionalmente, se logra erradicar la plétora de teorías del éter que no logran ponerse de acuerdo. No obstante, cabe señalar que tanto las teorías del éter como la mecánica cuántica hacen "afirmaciones poco realistas" (*IIIc*, afirmaciones sobre la realidad en la clasificación de Shapere), pero las afirmaciones del éter mecánico de Maxwell en retrospectiva resultan más difíciles de aceptar que las afirmaciones de Bohr acerca de "ignorar" el estado de las partículas antes de medirlas. De alguna manera, la complementariedad de Bohr se queda con la potente unificación y las descripciones adecuadas de las teorías ondulatorias, pero sin el peso de la incómoda entidad "éter". Esto muestra que las inadecuaciones de realidad (*IIIc*) deben ponerse en contexto para poder ser valoradas. Mediante el principio de complementariedad, la dualidad onda-partícula reconcilia las visiones sobre las radiaciones y la materia que se habían concebido como contrincantes.

Por otro lado, el espacio-tiempo relativista proveerá la continuidad que se necesita en la teorización del espacio pero sin los problemas mecánicos irresolubles de

los modelos del éter. En términos shapereanos, el espacio-tiempo es una entidad que provee mucho mejor "coherencia al dominio" (*Ic*) al amalgamar de una manera más natural todos los elementos, en particular haciendo válido el principio de relatividad en toda la física.

Si bien en este artículo hemos enfatizado en una visión continuista de la física clásica a la contemporánea, sí podemos reconocer que el abandono simultáneo del "éter" y del "espacio absoluto" que le acompañaba marca un momento relevante en la debilitación de la física decimonónica.

Ya sin espacio absoluto y sin éter, los físicos acuñan una concepción del espacio que es importante tanto para el movimiento de los cuerpos como para la propagación de la radiación, que obedece al principio de continuidad y que usa la potente teoría de campos. En la lista que presentamos en la sección 3 no es nada despreciable el número de preguntas que giraban en torno al éter. Una vez que esa entidad se abandona (si bien los físicos se aferraron a ella hasta entrado el siglo xx), todas esas preguntas desaparecen también. Poco a poco la física se va volviendo más operacional y comienzan las críticas a los elementos metafísicos que caracterizarán las primeras décadas del siglo xx.

Además, la física cuántica abraza poco a poco al indeterminismo y se acomoda a una era llena de predicciones altamente eficientes, como nunca antes, que permitirán captar la atención para dejar en las sombras, durante varias décadas, problemas pendientes que hoy en día intentan resolverse.

¿Qué otras inadecuaciones quedaban mejor resueltas en la física relativista que en la decimonónica? La relatividad es capaz de *explicar* por qué el principio de relatividad clásico de Galileo no se cumple en la teoría electromagnética, es decir, en la luz, y además proporciona unas nuevas transformaciones (las de Lorentz) para componer velocidades.[33] Es decir, la comprensión de la constancia de la velocidad

[33] Si en las transformaciones de Galileo se suman vectorialmente las velocidades, en las transformaciones de Lorentz tendremos que recurrir a una expresión más compleja para componer las velocidades entre diferentes marcos de referencia.

de la luz es un éxito rotundo que empujó al abandono de las teorías etéreas, y del espacio absoluto y recto. Sumado a esto, la curvatura del espacio-tiempo explica las interacciones entre astros de una manera más robusta y definitiva que las acciones gravitacionales newtonianas a distancia y en el vacío.

Un hallazgo del análisis aquí realizado es que podemos encontrar un paralelismo entre el debate Einstein/Copenhague y Carnap/Boltzmann. En ambos hay una lucha entre determinismo e incertidumbre, entre certeza y azar. Esto también nos lleva a reflexionar sobre los distintos valores epistemológicos que pueden defender científicos que conviven en un mismo momento de la historia y las diferentes concepciones de la racionalidad científica que defienden. Entonces, ¿qué guía y qué aspectos finalmente determinan las definiciones científicas que permanecen en uso?: siguiendo la línea de la filosofía de la ciencia de Nelson Goodman (véase Cohnitz & Rossberg 2020; Elgin 1997; Heather 2016). Por lo tanto, notamos una carencia en la tipología de Shapere, ya que se requiere un análisis externo y no exclusivamente interno de las teorías científicas para dar cuenta de su institucionalización y evolución.

Otro cuestionamiento con el que nos encontramos en esta investigación fue el siguiente: ¿es posible aplicar el enfoque de Shapere en un momento de la ciencia así, en el que se presentan fuertes cambios conceptuales, o solamente es útil la tipología para analizar una sola teoría en un momento específico? En otras palabras, ¿es aplicable para análisis diacrónicos? Nuestra respuesta es que sí, la tipología shapereana es adecuada para etapas críticas en la ciencia que Thomas Kuhn clasificaría como "ciencia extraordinaria", es decir, momentos en que se están suplantando unas teorías por otras o existe una variedad de propuestas teóricas en competencia. En las inadecuaciones tipo *III.d*, Shapere contempla la posibilidad de que dos teorías sean incompatibles. Si bien en sus sueños de unificación él plantea el escenario deseando que se resuelva con una conciliación entre todas las teorías de la ciencia, o al menos las de un mismo dominio, podemos utilizar ese escenario que él ideó para hacer comparaciones entre teorías sucesivas.

No obstante, creemos importante señalar también otra limitación de la tipología shapereana: los dominios no siempre tienen una delimitación clara y excluyente. En la transición continua, paulatina y pausada de la ciencia decimonónica a la del

siglo XX, la matemática y la física no pueden separarse como dos dominios completamente independientes y muestra de ello es que existía un número importante de preguntas compartidas por ambos campos, como la de la estructura geométrica del espacio físico y su dimensionalidad. Además, dentro de la propia física hemos visto que los fenómenos transitan de una a otra teoría. Resulta interesante cómo la dinámica de los dominios se ve modificada en función de los cambios en la naturaleza de los objetos de estudio: radiación, materia, espacio.

Una limitación más de la tipología shapereana es que las "incoherencias" en las teorías dependen de su delimitación. Las teorías del éter, en su conjunto, son absolutamente incoherentes (al grado de que unas afirman que el campo magnético gira en torno al eléctrico y otras dicen lo contrario), pero si tomamos cada una por separado, es más fácil verlas como un conjunto de conocimientos con sentido y sin contradicciones internas.

Las autoras consideramos que la tipología de Shapere ha resultado útil para analizar la transición de la física decimonónica a la contemporánea, y que se ha podido realizar el proceso reflexivo sin suscribir, por completo, el unificacionismo de Shapere. Pese a ello, entre las limitaciones que hemos señalado en la visión de Shapere, quizás la que más obstaculizó nuestro análisis es que, al igual que los positivistas lógicos, sigue teniendo una perspectiva internalista de la ciencia, en la que se toman en cuenta los productos científicos y se ignoran los valores tanto epistémicos como no epistémicos. Esta investigación nos ha permitido identificar valores que resultan indispensables para entender este momento de la historia de la física, entre los que destacaríamos "objetividad", "coherencia", "indeterminismo", "economía", "éxito predictivo" y "poder explicativo", los cuales a su vez pueden estar parcialmente determinados por otros no epistémicos, pero este aspecto va más allá del alcance de este trabajo.

Trabajos citados

Abímólá, Kolá. "Rationality and methodological change, Dudley Shapere's conception of scientific development". *Principia* 10.1 (2006): 39-65.

Berkson, William. *Las teorías de los campos de fuerza desde Faraday hasta Einstein.* Madrid: Alianza Editorial, 1985.

Carnap, Rudolf. *Two essays on entropy*. California: University of California Press, 1977.

Castro, Sixto. *La trama del tiempo*. Salamanca: Editorial San Esteban, 2002.

Cohnitz, Daniel y Rossberg, Marcus. "Nelson Goodman". *The Stanford encyclopedia of phylosophy.* Stanford: Ed. Edwad N. Zalta, 2020. <https://plato.stanford.edu/archives/sum2022/entries/goodman/>

Coopersmith, Jennifer. *Energy, the subtle concept. The discovery of Feynman's blocks from Leibniz to Einstein.* Nueva York: Oxford University Press, 2015.

Eisenstaedt, Jean. *Antes de Einstein: relatividad, luz y gravitación.* Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica, 2005.

Elena, Alberto. "Huygens y el cartesianismo, a propósito de la noción de gravedad". *Llull* 5.1 (1983): 5-16.

Elgin, Catherine. *Between the absolute and the arbritrary.* Ithaca: Cornell Univ Press, 1997.

Ehrenfest, Paul & Ehrenfest, Tatiana. *The conceptual foundations of the statistical approach in mechanics*, *1912*. Ithaca/Nueva York: Cornell University Press, 1959.

Feynman, Richard. (1966) "The development of the space-time of quantum electrodynamics". *Science* 153.3737 (1966): 699-708. <https://doi.org/10.1126/science.153.3737.699>

Fizeau, Hippolyte. "Sur les hypothèses relatives à l'éther lumineux". *Annales de chimie et de physique* 57.1 (1859): 385-404.

Fresnel, Augustin. "Lettre d'Augustin Fresnel à François Arago". *Annales de chimie et de physique* 9.1 (1818): 57-66.

Hacking, Ian. "¿Qué es el realismo científico?". *Representar e intervenir - Capítulo 1*, 1983. Ciudad de México: Ediciones Paidós, 1996, pp. 39-59.

Harman, Peter M. *Energy, force and matter*. Cambridge: Cambridge University Press, 1982. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511665394>

Heather, Douglas. "Values in science". *The Oxford handbook of philosophy of science*, editado por Paul Humphreys, 2016. <https://www.doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199368815.013.28>

Hernández, Nalliely. *Miniminalismo filosófico en mecánica cuántica. Una lectura desde el pragmatismo de Richard Rorty*, editado por María José Corrales. Guadalajara: Universidad de Guadalajara, 2021.

Jammer, Max. *Concepts of space. The history of space in physics*. Cambridge, Mass: Harvard University Press, 1954.

Kuhn, Thomas. "La conservación de la energía como ejemplo de descubrimiento simultáneo". *La tensión esencial. México: Fondo de Cultura Económica*, 1982, pp. 91-128.

Mascart, Éleuthère. "Sur les modifications qu'éprouve la lumière par suite du mouvement de la source lumineuse et du mouvement de l'observateur". *Annales scientifiques de l'École Normale Supérieure* Série 2 - Tome 1 (1872): 157-214. <https://doi.org/10.24033/asens.81>

Maxwell, James C. "On physical lines of force, 1861". *Philosophical Magazine* 90.1 (1961): 11-23. <https://doi.org/10.1080/14786446108643033>

Montesinos, José M. "La geometría no euclidiana". *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (España)* 107.1-2 (2014): 1-8. <https://rac.es/ficheros/doc/01107.pdf>

Poincaré, Henri. *Ciencia e hipótesis*, 1902. Madrid: Planeta, 2002.

Rioja, Ana M. "Einstein: el ideal de una ciencia sin sujeto". *Revista de Filosofía* 2.1 (1989): 87-108. <https://revistas.ucm.es/index.php/RESF/article/view/RESF8989110087A>

Riemann, Bernhard. "Sobre las hipótesis que están en la base de la geometría". *Diálogos* 31 (1978): 151-168.

Sánchez Ron, José. "El verdadero significado de la teoría de la relatividad especial". *El origen y desarrollo de la relatividad.* Madrid: Alianza Editorial, 1985, pp. 86-91.

Shapere, Dudley. "Objectivity, rationality and scientific change". *Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association* 2.1 (1985): 637-663. <https://www.jstor.org/stable/192530>

Uffink, Jos. "Bluff your way through the Second Law of Thermodynamics". S*tudies in History and Philosophy of Modern Physics* 32.3 (2004): 305-394. <https://www.doi.org/10.1016/s1355-2198(01)00016-8>

Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia
Vol. 22 n.o 44 (2022): 105-131
ISSN: 0124-4620 (papel) & 2463-1159 (electrónico)

Fecha de recepción: 12/05/2021
Fecha de aprobación: 06/12/2021
Fecha de publicación: 29/06/2022
https://doi.org/10.18270/rcfc.v22i44.3524

La relevancia de la invariancia frente a inversión temporal para la flecha del tiempo*

The Relevance of the Invariance under Time-reversal to the Arrow of Time

Olimpia Lombardi
conicet - Universidad de Buenos Aires
Buenos Aires, Argentina.
olimpiafilo@gmail.com
https://orcid.org/0000-0003-2204-7902

Leonardo Vanni
Universidad de Buenos Aires
Buenos Aires, Argentina.
idaeos@gmail.com

CC BY NC ND

RESUMEN

En este artículo se argumenta que la existencia de leyes invariantes frente a inversión temporal no es condición indispensable para la existencia de la flecha del tiempo. Esta última puede definirse como una propiedad global y geométrica del espacio-tiempo que no se basa en consideraciones entrópicas ni requiere de la existencia de leyes no invariantes frente a la inversión temporal. A su vez, si el espacio-tiempo cumple ciertas condiciones, la flecha global se traslada a los contextos locales como un flujo tetradimensional de energía que apunta en la misma dirección temporal en todos los puntos espacio-temporales.

Palabras clave: flecha del tiempo; invariancia frente a inversión temporal; espacio-tiempo; orientabilidad temporal; tiempo global; simetría temporal; flujo tetradimensional de energía.

* Este artículo se debe citar: Lombardi, Olimpia & Vanni, Leonardo. "La relevancia de la invariancia frente a inversión temporal para la flecha del tiempo". *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia* 22.44 (2022): 105-131. *https://doi.org/10.18270/rcfc.v22i44.3524*

ABSTRACT

In this article is it argued that the existence of physical laws that are invariant under time-reversal is not an indispensable condition for the existence of the arrow of time. Such an arrow can be defined as a global and geometric property of space-time, which neither is based on entropic considerations nor requires the existence of time-reversal invariant laws. In turn, if the space-time satisfies certain conditions, the global arrow can be transferred to the local contexts as a four-dimensional energy flow that points to the same time direction in all space-time points..

Keywords: arrow of time; time-reversal invariance; space-time; time orientability; global time; time symmetry; four-dimensional energy flow.

1. Introducción

En el campo de la física, la flecha del tiempo suele discutirse en términos de aumento de entropía. Lo que subyace a esta estrategia es el supuesto de que la definición de la flecha del tiempo requiere de una ley no invariante frente a inversión temporal, y puesto que las leyes fundamentales de la física sí son invariantes, lo único que resta es apelar a la segunda ley de la termodinámica. Sin embargo, esto conduce a otro problema: ¿cómo puede surgir la asimetría temporal termodinámica sobre la base de leyes subyacentes que son invariantes frente a inversión temporal?

Los problemas se agudizan cuando se comprueba que no existe consenso acerca del concepto mismo de invariancia frente a inversión temporal. En efecto, diversos autores disienten respecto al modo en que dicha invariancia se define y, con ello, a si ciertas leyes físicas específicas son invariantes o no frente a inversión temporal. Tal disenso parece fatal para el problema de la flecha del tiempo: si para fijarla se requiere al menos de una ley invariante frente a inversión temporal, pero no hay acuerdo acerca del propio significado de dicha invariancia, lejos nos encontramos de brindar una respuesta satisfactoria al problema de la flecha del tiempo.

Sin embargo, el panorama no se presenta tan sombrío si comenzamos por precisar el problema con mayor detalle. Es cierto que si existiera una ley fundamental que no es invariante frente a inversión temporal, se podría dar cuenta de la flecha del tiempo, pero no es cierto que la existencia de al menos una ley invariante frente a inversión temporal es condición indispensable para la existencia de la flecha del tiempo. Precisamente es en favor de esta última afirmación que argumentaremos en el presente trabajo, mostrando que la flecha del tiempo puede definirse como una propiedad global y geométrica del espacio-tiempo que no requiere de la existencia de leyes no invariantes frente a inversión temporal.

Con dicho propósito, este artículo se organiza del siguiente modo: en la sección 2 comenzaremos por distinguir entre conceptos que suelen asimilarse o confundirse en la discusión acerca de la flecha del tiempo; en particular, brindaremos una clara caracterización de los conceptos de invariancia ante inversión temporal, irreversibilidad y flecha del tiempo. Sobre esta base, en la sección 3 repasaremos los principales desacuerdos acerca del concepto de invariancia frente a inversión temporal y cómo se relacionan con diferentes concepciones acerca de las simetrías en física. El nudo gordiano se cortará en la sección 4, en la que presentaremos el enfoque global y geométrico señalando los requisitos que el espacio-tiempo debe cumplir para la existencia de una flecha del tiempo y el modo en que la flecha global se traslada a los contextos locales. En la sección 5 discutiremos la relación entre la flecha del tiempo global y geométrica, y la invariancia ante inversión temporal de las leyes físicas, tanto en el caso de la relatividad general como en el de las teorías locales no-relativistas. Finalmente, la sección 6 se dedicará a presentar las conclusiones generales del trabajo.

2. Un paso previo: la distinción clara entre conceptos

Cuando se aborda el problema de la flecha del tiempo, el primer obstáculo a enfrentar es la confusión conceptual: en muchos casos la falta de consenso se debe principalmente a que se identifican conceptos diferentes y se subsumen distintos problemas bajo un mismo rótulo. En particular, se suelen identificar el problema

de la irreversibilidad y el de la flecha del tiempo, como si la irreversibilidad fuera la clave para comprender el origen y la naturaleza de la flecha del tiempo, y se vincula la irreversibilidad con la invariancia frente inversión temporal (a partir de aquí, t-invariancia). Por este motivo, comenzaremos por elucidar los conceptos involucrados en el debate.

Una ley dinámica es *t-invariante* cuando la ecuación que la representa es invariante frente a la aplicación del operador de inversión temporal T. Sin duda, esta caracterización reposa esencialmente en cómo se define el operador T. Como veremos en la próxima sección, si bien hay acuerdo en que el operador debe realizar la inversión de la variable tiempo, esto es, la transformación $t \rightarrow -t$, no hay acuerdo en cuanto al modo en que opera sobre otras variables. Por otra parte, una evolución temporal, representada por una solución de una ley dinámica, es *reversible* cuando puede desarrollarse en sentido inverso (Sklar 1993); en general, esto sucede cuando la solución correspondiente no tiene atractores, es decir, no existen "estados de no retorno". Toda evolución que tiende a un equilibrio será, entonces, irreversible pues el equilibrio es un estado del cual el sistema ya no puede escapar espontáneamente (Earman 1986).

Estas caracterizaciones, si bien pueden seguir precisándose, ya ponen de manifiesto que ambos conceptos son diferentes en la medida en que se aplican a entidades distintas. La t-invariancia es una propiedad de las leyes dinámicas, expresadas mediante ecuaciones dinámicas y, a fortiori del conjunto de las evoluciones posibles, representadas por las soluciones de dichas ecuaciones. La reversibilidad es una propiedad de una única evolución temporal compatible con la ley dinámica, evolución que se representa por una solución de la ecuación dinámica correspondiente. Las dos propiedades ni siquiera están correlacionadas: es posible obtener evoluciones reversibles de leyes no t-invariantes y evoluciones irreversibles de leyes t-invariantes (ver ejemplos en Castagnino, Lara & Lombardi 2003).

Sobre la base de estas caracterizaciones, *el problema de la irreversibilidad* se puede plantear de un modo sencillo: cómo explicar las evoluciones irreversibles en términos de leyes t-invariantes. Una vez que se admite que reversibilidad y t-invariancia se aplican a entidades diferentes, resulta claro que no hay un obstáculo

conceptual para la resolución del problema de la irreversibilidad: nada impide que una ley t-invariante conduzca a evoluciones irreversibles. Huw Price (1996) ilustra este punto con la analogía de una fábrica que produce igual número de sacacorchos dextrógiros y levógiros: la producción en su conjunto es completamente simétrica, pero cada sacacorchos individual es espacialmente asimétrico. Por supuesto, si bien la respuesta conceptual es simple, se requiere de una gran cantidad de trabajo teórico para obtener evoluciones irreversibles a partir de una dinámica t-invariante subyacente. Pero el punto a enfatizar aquí es que la pregunta sobre la flecha del tiempo no necesita ser invocada para abordar el problema de la irreversibilidad. De hecho, cuando se habla de procesos de aumento de entropía o de procesos de decaimiento, se presupone un aumento de entropía o el decaimiento hacia el futuro; cuando se considera un proceso que se desarrolla desde el no-equilibrio hasta el equilibrio, implícitamente se ubica el equilibrio en el futuro. En general, cualquier evolución que tiende a un atractor se la concibe como aproximándosele en el futuro. Esto significa que la distinción entre pasado y futuro suele presuponerse en los tratamientos tradicionales del problema de la irreversibilidad. Pero, entonces, ¿qué es la flecha del tiempo que introduce la distinción entre las dos direcciones temporales?

El problema de la flecha del tiempo debe su origen a la asimetría intuitiva entre pasado y futuro. Experimentamos el orden temporal del mundo como "dirigido": si dos eventos no son simultáneos, uno de ellos es anterior al otro. Además, accedemos al pasado y al futuro de manera muy diferente: recordamos el pasado y predecimos el futuro. La naturaleza metafísica última del tiempo ha sido uno de los intereses tradicionales de la filosofía desde su nacimiento. Parece haber algo esencialmente evasivo en nuestra experiencia del tiempo y su "fluir" del pasado al futuro a través del presente. Sin embargo, no es el problema de la experiencia del tiempo el que nos ocupa aquí, sino el de fundamentar la flecha del tiempo en el contexto de la física.

La dificultad en este caso es que nada hay en las leyes dinámicas fundamentales que distinga, de manera no arbitraria, entre pasado y futuro tal como los concebimos en nuestro lenguaje ordinario y en nuestra vida cotidiana. Se podría objetar que la física asume implícitamente esta distinción con el uso de expresiones temporalmente asimétricas, como "cono de luz futuro", "condiciones iniciales", "tiempo

creciente", etc. Sin embargo, este no es el caso ya que la distinción que estos términos introducen es puramente convencional; por ejemplo, si intercambiáramos los términos "norte" por "sur" para nombrar los polos de un imán, nada cambiaría en la descripción de los fenómenos magnéticos puesto que se trata de objetos formalmente idénticos. En cambio, cuando se nombran con distintos nombres objetos que no son formalmente idénticos, se señala una diferencia sustancial entre ellos; por ejemplo, la diferencia entre los dos polos de la Tierra es sustancial puesto que en el Polo Norte hay un continente y en el Polo Sur no lo hay (ver presentación detallada en Castagnino & Lombardi 2005). Comprendido este punto, queda claro que la física usa los términos "pasado" y "futuro" de una manera convencional. Por tanto, en física la cuestión no puede plantearse en términos de identificar el futuro como distinto del pasado. El *problema de la flecha del tiempo* debe formularse como el problema de encontrar una diferencia sustancial entre las dos direcciones temporales.

La principal dificultad frente a esta cuestión reside en nuestra perspectiva antropocéntrica: la diferencia entre pasado y futuro está tan profundamente arraigada en nuestro lenguaje y nuestros pensamientos que es muy difícil deshacerse de estos supuestos asimétricos. Por lo tanto, cuando pretendemos abordar el problema de la flecha del tiempo desde una perspectiva purgada de nuestras intuiciones temporales, debemos hacer el esfuerzo de evitar las conclusiones derivadas de presuponer implícitamente nociones temporalmente asimétricas. Como afirma Price (1996), debemos situarnos conceptualmente fuera del tiempo y, desde allí, considerar la realidad en términos atemporales. Esta perspectiva atemporal nos impide utilizar expresiones temporalmente asimétricas de una manera no convencional: la suposición sobre la diferencia entre pasado y futuro no es legítima en el contexto del problema de la flecha del tiempo.

Pero, entonces, ¿a qué nos referimos con "flecha del tiempo" cuando aceptamos estas restricciones? Por supuesto, la expresión tradicional acuñada por Arthur Eddington solo tiene un sentido metafórico: su significado debe entenderse por analogía. Reconocemos la diferencia entre los dos extremos de una flecha sobre la base de sus propiedades geométricas; por lo tanto, podemos distinguir sustancialmente entre sus dos direcciones independientemente de nuestra perspectiva particular. De

manera análoga, concebiremos el problema de la flecha del tiempo en términos de *la posibilidad de establecer una distinción sustancial entre las dos direcciones del tiempo sobre la base de argumentos exclusivamente físicos*.

3. El problema de la t-invariancia

Recordemos que la t-invariancia es una propiedad que, en principio, pueden o no poseer las leyes de la física: se trata de su invariancia frente a la aplicación del operador de inversión temporal T que, al menos, introduce la transformación $t \rightarrow -t$. En los casos tradicionales no parece haber dificultad en decidir el estatuto de una ley en cuanto a su t-invariancia. Por ejemplo, la segunda ley de Newton expresada como $F(x) = m\, dx^2/dt^2$—donde x, y $F(x)$ representan la distancia a un cierto origen, la masa y la fuerza en la dirección , respectivamente— es t-invariante dado que se trata de una ecuación diferencial de segundo orden que incluye una derivada segunda respecto al tiempo. Por el contrario, la ley de Fourier de conducción del calor, —donde Q, K, A, T y x representan el calor que atraviesa una superficie, la conductividad térmica, el área de la superficie, la temperatura y la distancia a un cierto origen en la dirección perpendicular a la superficie, respectivamente—, resulta no t-invariante puesto que es una ecuación diferencial de primer orden que incluye una derivada primera respecto al tiempo. De este modo, la decisión respecto de la t-invariancia o no de una ley parece ser una cuestión sencilla basada en criterios puramente formales. Sin embargo, el asunto está lejos de ser tan simple cuando se trata de leyes que involucran otras magnitudes físicas, ya que no existe consenso acerca del modo en que el operador de inversión temporal T actúa sobre tales magnitudes.

Es interesante señalar que, en general, los físicos en su práctica cotidiana no se preguntan acerca de esta cuestión: ellos "saben" cuál es la forma de T y, por tanto, cómo actúa sobre las distintas magnitudes involucradas. Desde esta perspectiva ortodoxa, las teorías físicas tradicionales, como la mecánica clásica, el electromagnetismo y la mecánica cuántica, son t-invariantes. Sin embargo, desde un punto de vista filosófico, la pregunta relevante es no solo cómo se define el operador de inversión tem-

poral T, sino también por qué se lo define de ese modo. Es frente a tales interrogantes que surge un encendido debate (ver Savitt 1996 para un análisis cuidadoso de varios operadores de inversión temporal; ver Peterson 2015 para un enfoque actualizado).

Según Mario Castagnino, Manuel Gadella y Olimpia Lombardi (2005), el operador T efectúa la transformación $t \rightarrow -t$ e invierte el signo de todas las magnitudes dinámicas cuya definición en función del tiempo es no invariante frente a la transformación $t \rightarrow -t$. Por ejemplo, en mecánica clásica de partículas, la acción de T no invierte las posiciones q de las partículas, $\mathbf{T}q = q$, pero sí sus momentos cinéticos p, $\mathbf{T}p = p$, puesto que estos se definen en términos de las correspondientes velocidades. A su vez, en electromagnetismo, T deja invariantes los campos eléctricos, $\mathrm{T}\, E = E$, e invierte las velocidades de las cargas, $\mathrm{T}\, v = -v$, y los campos magnéticos, $\mathrm{T}\, B = -B$, ya que estos se definen en función de tales velocidades. De este modo, tanto las leyes de la mecánica clásica de partículas como las leyes del electromagnetismo resultan ser t-invariantes, según la ortodoxia.

Desde una postura abiertamente heterodoxa, David Albert (2000) sostiene que las teorías físicas tradicionalmente consideradas t-invariantes en realidad no lo son. No se trata tan solo de que el electromagnetismo no es t-invariante, sino que tampoco lo es

> […] la mecánica cuántica, tampoco la teoría relativista de campos cuánticos, ni la relatividad general, ni la supergravedad, ni la teoría de cuerdas supersimétrica, y tampoco (para el caso) lo son ninguno de los candidatos a teoría fundamental que alguien ha tomado en serio desde Newton. Y todo lo que todos han dicho por el contrario […] está equivocado. (Albert 2000 14)

Por ejemplo, según el autor el electromagnetismo no es t-invariante porque el campo magnético no debe invertir su signo frente a la aplicación del operador T: "Los campos magnéticos no son el tipo de cosas a las que una adecuada transformación de inversión temporal puede invertir. Los campos magnéticos no son, ni lógica ni conceptualmente, las tasas de cambio de nada" (Albert 2000 20). John Earman (2002) critica severamente la posición de Albert considerando que si *A* produce *B* y *A* se cambia de signo debido a una inversión temporal, entonces *B* también debe ver-

se afectado por tal inversión. Este es el caso del campo magnético: si las velocidades de las cargas que atraviesan un cable se invierten, entonces el campo magnético producido por la corriente eléctrica también se invierte. En su crítica a Albert, Earman expresa en términos causales aquello que Castagnino, Gadella y Lombardi (2005) formulan en términos definicionales.

Es claro que el alcance que cada autor adjudica al operador de inversión temporal T depende esencialmente de sus supuestos acerca de cuáles magnitudes son básicas y cuáles dependen causal o definicionalmente de aquellas. Por lo tanto, de tales supuestos depende la propia definición de t-invariancia adoptada.

El problema se torna más agudo en el caso de la mecánica cuántica. Según la perspectiva ortodoxa, el operador de inversión temporal es antiunitario: T no solo efectúa la transformación $^{t \rightarrow -t}$, sino que además introduce la transformación. Ante la aplicación del operador antiunitario T, la ecuación de Schrödinger resulta t-invariante. Las razones que se esgrimen para utilizar el operador antiunitario T en lugar del operador unitario T*, que solo efectúa la transformación $^{t \rightarrow -t}$, son diversas. En algunos casos la justificación se basa en una analogía clásica: la transformación $^{t \rightarrow -t}$ del operador T* no conduce a la transformación del momento como $^{P \rightarrow -P}$, que es el resultado esperado puesto que es el modo en que el momento se transforma ante inversión temporal en mecánica clásica (Earman 2002). En otros casos se argumenta que T* invertiría los valores de la energía, de modo que el espectro de energía no resultaría acotado a un valor mínimo, lo cual resulta físicamente inaceptable (Sakurai 1994). En este sentido, algunos autores exigen directamente que el hamiltoniano del sistema cerrado sea invariante frente a inversión temporal, lo cual requiere de un operador de inversión temporal T antiunitario (Gasiorowicz 1966), a veces no debido al modo en que debe transformarse el espectro de energía, sino porque solo de ese modo la ecuación de Schrödinger resulta t-invariante (Sachs 1987). En esta línea de argumentación, hay quienes consideran que ciertas simetrías de las leyes físicas son a priori:

> Una simetría puede ser a priori, es decir, la ley física se construye de tal manera que respete esa simetría particular por construcción. Así lo ejemplifican las

> simetrías espacio-temporales, porque el espacio-tiempo es el teatro en el que actúa la ley física […], por lo que debe respetar las reglas del teatro. (Dürr & Teufel 2009 43-44)

Desafiando la ortodoxia acerca de inversión temporal en mecánica cuántica, algunos autores han alzado la voz en su contra apelando a razones filosóficas: el operador antiunitario T no ofrecería una representación conceptualmente sólida y clara de la inversión del tiempo. Por un lado, una tradición de larga data, que se remonta a los trabajos de Giulio Racah (1937) y Satosi Watanabe (1955), aboga por un operador de inversión temporal unitario para las teorías cuánticas. En la misma línea, Oliver Costa de Beauregard (1980) defiende el punto de vista heterodoxo al afirmar que el operador unitario T*, que invierte exclusivamente la dirección del tiempo cambiando el signo de la variable t, es más acorde a los contextos relativistas. Por su parte, Craig Callender (2000) y Albert (2000) sostienen que la ecuación de Schrödinger en realidad debería considerarse no t-invariante ya que no es invariante bajo el operador unitario T*, que representa más correctamente lo que significa "invertir la dirección del tiempo". Siguiendo esta línea, Jill North (2009 212) afirma:

¿Qué es una transformación de inversión temporal? ¡Solo un cambio de dirección del tiempo! Eso es todo lo que hay en una transformación que cambia cómo son las cosas con respecto al tiempo: un cambio en la dirección del tiempo mismo.

Para estos filósofos, si la t-invariancia de una ley nos dice algo sobre la estructura del tiempo, la inversión temporal solo debería invertir la dirección del tiempo sin agregados adicionales. En particular, si la cuestión es el problema de la flecha del tiempo y la t-invariancia de la teoría se considera relevante para este problema, imponer la t-invariancia de la ecuación de Schrödinger como requisito a priori que la teoría debe satisfacer resulta una estrategia circular (para discusiones ulteriores, ver Roberts 2017; López & Lombardi 2019).

El propósito aquí no es analizar en detalle el debate acerca de la definición de t-invariancia y sopesar los argumentos en favor de las diferentes posiciones (ver López 2021). El objetivo de esta sección ha sido únicamente poner de manifiesto los profundos desacuerdos que aún existen respecto a cómo debe concebirse la inversión

temporal. Es claro entonces que, si se hace depender la existencia de la flecha del tiempo de la t-invariancia de las leyes físicas, tales desacuerdos tienen fuertes repercusiones sobre el problema mismo de la flecha del tiempo. En la siguiente sección mostraremos que es posible cortar el nudo gordiano, definiendo la flecha del tiempo sin apelar a la t-invariancia de las leyes físicas.

4. La flecha del tiempo global-geométrica

En el contexto de un enfoque entrópico de la flecha del tiempo, muchos autores han considerado que la dirección pasado-a-futuro se define como la dirección en a que proceden las evoluciones irreversibles, esto es, que tienden al equilibrio. Ahora bien, supongamos que hemos resuelto el problema de la irreversibilidad y, por tanto, contamos con la descripción de todas las evoluciones irreversibles del universo. Sin embargo, dado que aún no hemos establecido una diferencia sustancial entre ambas direcciones del tiempo, no tenemos forma de decidir hacia qué dirección temporal procede cada evolución hacia el equilibrio. Por supuesto, obtendríamos la flecha del tiempo si pudiéramos coordinar los procesos irreversibles de tal manera que todos o la mayoría de ellos procedieran paralelamente en la misma dirección temporal. Pero esto es precisamente lo que la física local no puede ofrecer: solo mediante consideraciones globales se pueden coordinar todos los procesos irreversibles para afirmar que todos ellos tienen al equilibrio en una misma dirección temporal. Esto significa que la flecha global del tiempo juega el papel del escenario de fondo donde es posible hablar de manera significativa de la dirección temporal de todos o la mayoría de los procesos irreversibles del universo, y este escenario no puede construirse mediante teorías locales que solo describen fenómenos confinados en pequeñas regiones del espacio-tiempo. Una vez que se acepta que el problema de la flecha del tiempo no puede ser abordado desde una perspectiva local, entra en juego la relatividad general. Sobre esta base, adoptaremos la "herejía de la dirección del tiempo" formulada por Earman (1974), según la cual la flecha del tiempo, si existe, es una característica del espacio-tiempo que no necesita ni puede ser reducida a propiedades no temporales.

Según la relatividad general, las propiedades físicas básicas son la geometría del espacio-tiempo, representada por el tensor métrico Lorentziano $g_{\mu\nu}$, y la distribución de materia-energía sobre el espacio-tiempo, representada por el tensor de energía-momento $T_{\mu\nu}$. Un espacio-tiempo relativista general es un par ordenado $(M,g_{\mu\nu})$, donde M es una variedad tetradimensional pseudoriemanniana y $g_{\mu\nu}$ es un tensor métrico lorentziano definido sobre M tal que satisface, para algún tensor de energía-momento $\mu\nu$, las ecuaciones de campo de Einstein, $R_{\mu\nu}-(1/2)Rg_{\mu\nu}+\Lambda g_{\mu\nu}=8\pi G g_{\mu\nu}$, donde $R_{\mu\nu}$ es el tensor de Ricci, R es el escalar de Ricci, Λ es la constante cosmológica y es la constante de gravitación. Respecto a la flecha del tiempo, algunos autores se han preguntado si se trata de una propiedad del tiempo mismo o de una propiedad de la disposición de las cosas en el tiempo (ver, por ejemplo, Price 1996). Es interesante señalar que, en el contexto de la relatividad general, ambas situaciones conceptualmente diferentes están estrechamente relacionadas: las ecuaciones de campo expresan la estrecha correlación legal entre las propiedades geométricas del espacio-tiempo y la distribución de materia-energía sobre ese espacio-tiempo.

Para el cosmólogo, el universo es un objeto espacio-temporal de cuatro dimensiones. Este objeto, en tanto tal, puede ser simétrico o asimétrico en sus diferentes dimensiones. Cuando se considera el problema de la flecha del tiempo, la cuestión es averiguar si el universo es temporalmente asimétrico: dicha asimetría consiste en la asimetría de las propiedades geométricas del espacio-tiempo a lo largo de la dimensión temporal. Sin embargo, por supuesto, las cosas no son tan sencillas. Muchos espacio-tiempos diferentes, de topologías extraordinariamente variadas, son consistentes con las ecuaciones de campo y algunos de ellos tienen características que no permiten definir las dos direcciones del tiempo de manera global, ni siquiera hablar de un tiempo único para el universo en su conjunto. Por lo tanto, es necesario establecer (i) las condiciones que debe cumplir un espacio-tiempo para ser espacialmente asimétrico, (ii) cómo se define la asimetría temporal cuando esas condiciones se cumplen, y (iii) de qué modo tal asimetría global se transfiere al ámbito local en términos de alguna magnitud propia de las teorías locales de la física. A continuación, abordaremos cada uno de los aspectos.

4.1. Condiciones: orientabilidad temporal y tiempo global

Un espacio tiempo $^{(M,g_{\mu\nu})}$ es *temporalmente orientable* (t-orientable) si puede definirse sobre ^{M} un campo vectorial continuo y no nulo que es no tipo-espacio en todos los puntos. Mediante este campo vectorial es posible particionar el conjunto de todos los semiconos de luz del espacio-tiempo en dos subconjuntos: $^{C+}$, cuyos semiconos contienen los vectores del campo vectorial, y $^{C-}$, cuyos semiconos no los contienen. La importancia de esta condición es que, en un espacio-tiempo no t-orientable, es posible transformar un vector tipo-tiempo que apunta hacia una dirección en un vector tipo-tiempo que apunta en la otra dirección mediante un transporte continuo que siempre mantiene los vectores tipo-tiempo como tales (por ejemplo, dando la vuelta a una "cinta de Moebius" temporal); por lo tanto, la distinción entre semiconos de luz futuros y pasados no puede definirse unívocamente a nivel global.

Earman (1974) fue uno de los primeros autores que enfatizó la relevancia de la orientación temporal para el problema de la flecha del tiempo. Su posición fue cuestionada por Geoffrey Matthews (1979) sobre la base de que si la flecha del tiempo se define por medio de una ley local, un espacio-tiempo puede tener flechas de tiempo regionales pero sin contar con una flecha global: según la visión tradicional de Ludwig Boltzmann, solo ciertas regiones del universo tienen direcciones temporales y estas pueden no ser las mismas en todas las regiones. Sin embargo, esta posición implica que, en los puntos de frontera entre regiones donde la flecha del tiempo apunta en direcciones diferentes, la flecha no está unívocamente definida y, con ello, la ley local que la define pierde su validez. Este hecho contradice el principio metodológico de *universalidad*, incuestionablemente aceptado en la cosmología contemporánea, según el cual las leyes de la física son válidas en todos los puntos del espacio-tiempo (para más detalles, ver Castagnino, Lombardi & Lara 2003). Esto significa que la posibilidad de que las flechas del tiempo apunten en direcciones distintas en diferentes regiones del espacio-tiempo exige no solo una definición local de estas flechas, sino también ignorar las consideraciones globales provenientes de la cosmología.

Si bien la t-orientabilidad del espacio-tiempo excluye topologías que no permiten distinguir globalmente entre las direcciones de sus conos de luz, aún no per-

mite hablar de un tiempo global para todo el universo. En efecto, un espacio-tiempo puede ser tal que no sea posible dividir el conjunto de todos los eventos en clases de equivalencia, disjuntas y exhaustivas, de modo que: (i) cada una de las clases disjuntas sea una hipersuperficie tipo-espacio y (ii) tales hipersuperficies puedan ser ordenadas en el tiempo. En particular, esto sucede cuando el espacio-tiempo contiene curvas temporales cerradas. Para que ello no ocurra, el espacio-tiempo $^{(M,g_{\mu\nu})}$ debe poseer un *tiempo global*, lo cual se cumple si existe una función tiempo global $t:M\rightarrow R$cuyo gradiente es tipo-tiempo sobre toda la variedad. Cuando esta condición se cumple, el valor del tiempo global aumenta a lo largo de cualquier curva no tipo-espacio dirigida hacia una de las direcciones temporales. La existencia de tal función garantiza que el espacio-tiempo se puede particionar globalmente en hipersuperficies de simultaneidad que definen una *foliación* del espacio-tiempo (Schutz 1980). Además, la existencia de un tiempo global no solo evita "patologías" temporales, como las curvas temporales cerradas, sino que también excluye la posibilidad de que la más mínima variación de la métrica conduzca de nuevo a ellas (Hawking & Ellis 1973).

4.2. Asimetría temporal

Hasta aquí se han presentado las condiciones que el espacio-tiempo debe cumplir para la existencia de la flecha del tiempo: t-orientabilidad y existencia de tiempo global, pero aún nada se ha dicho acerca de su orientación. Como se señaló en la sección 2, el problema de la flecha del tiempo consiste en establecer una diferencia sustancial entre las dos direcciones temporales. Por lo tanto, en el plano cosmológico, se trata de determinar si el espacio-tiempo es asimétrico respecto de sus propiedades geométricas a lo largo del tiempo global.

A fin de precisar esta idea, la simetría temporal se define del siguiente modo: un espacio-tiempo, que posee un tiempo global *t*, es *temporalmente simétrico* (t-simétrico) si (i) existe un difeomorfismo que invierte las orientaciones temporales pero preserva la métrica $g_{\mu\nu}$, y (ii) existe una hipersuperficie tipo-espacio correspondiente a , donde es una constante, tal que el difeomorfismo deja invariante dicha hiper-

superficie. Intuitivamente, esto significa que, desde la hipersuperficie tipo-espacio correspondiente a , el espacio-tiempo "se ve igual" en ambas direcciones temporales. Por lo tanto, si un espacio-tiempo t-orientable con tiempo global es t-asimétrico, no encontraremos ninguna hipersuperficie tipo-espacio que divida el espacio-tiempo en dos "mitades", una imagen especular de la otra respecto de sus propiedades geométricas intrínsecas.

De este modo, la orientación temporal puede establecerse de manera sustancial sobre la base de la t-asimetría. En un espacio-tiempo t-asimétrico, cualquier hipersuperficie tipo-espacio correspondiente a un tiempo global $t = t_A$ divide la variedad en dos secciones que son diferentes entre sí: la sección $t > t_A$ es sustancialmente diferente a la sección $t < t_A$ respecto a sus propiedades geométricas. Esto significa que la dirección temporal $t < t_A$ a $t > t_A$ es geométrica y sustancialmente diferente de la dirección temporal a , de manera análoga a la diferencia sustancial, geométricamente fundamentada, entre las dos direcciones de una flecha física. Una vez establecida la diferencia sustancial entre las dos direcciones temporales, podemos elegir cualquier punto del espacio-tiempo y llamar convencionalmente a la dirección hacia $t > t_A$ "futuro" y a la dirección hacia $t > t_A$ "pasado", o viceversa: los nombres son convencionales, pero en cualquier caso el pasado es sustancialmente diferente del futuro.

4.3. De la flecha global a la flecha local

Hasta aquí se ha establecido una diferencia geométrica entre las dos direcciones temporales. Ahora la cuestión es si es posible definir la flecha del tiempo mediante algún objeto matemático que también se pueda interpretar en términos de las magnitudes más "familiares" de la física.

Puesto que el tensor de energía-momento representa la densidad y el flujo de energía y momento en cada punto del espacio-tiempo, sería deseable definir la flecha del tiempo en términos de $T_{\mu\nu}$. Esto puede efectuarse si se cumplen las siguientes dos condiciones: (i) la *densidad de materia-energía es no nula* en todo el espacio-tiempo, $T^{00} \neq 0$, y (ii) se cumple la *condición de energía dominante* en todo el espacio-tiempo,

$T^{00} \geq |T^{\alpha\beta}|$ para todo (Castagnino & Lombardi 2009). Estas condiciones no imponen requisitos muy fuertes. La primera exige que no haya un vacío perfecto en ninguna región del universo, situación que parece ser físicamente realista ya que en cualquier región del universo existe, al menos, radiación cósmica de cuerpo negro. Según Stephen Hawking y George Ellis (1973), hay buenas razones para creer que la segunda condición se cumple en todas las situaciones físicamente plausibles. Podrían existir casos "anómalos" en los que la condición de energía dominante no se cumple, por ejemplo, en la vecindad de la garganta de un agujero de gusano (Visser 1996), pero aún no hay evidencia experimental alguna en favor de la existencia de agujeros de gusano.

Consideremos una base ortonormal en cada punto del espacio-tiempo: $V_{(\alpha)} = (V^0_{(\alpha)}, V^1_{(\alpha)}, V^2_{(\alpha)}, V^3_{(\alpha)})$, con α=0,1,2,3. En dicho punto, $T^{0\alpha}{}_{V_{(\alpha)}}$ son las coordenadas del tensor de energía-momento en esa base y puede concebirse como la representación del flujo tetradimensional de energía en ese punto. Si allí se cumple la condición de energía dominante, $T^{00} \geq |T^{\alpha\beta}|$ para todo $\alpha\beta$, entonces se cumple como caso particular que $T^{00} \geq |T^{\alpha\beta}|$, lo cual implica que el flujo de energía $T^{0\alpha}{}_{V_{(\alpha)}}$ es no tipo-espacio. Además, si la densidad de materia-energía es no nula, $T^{00} \neq 0$, entonces $T^{0\alpha} \neq 0$, esto es, el flujo de energía será no nulo. Por lo tanto, en todos los puntos del espacio-tiempo existe un flujo de energía que apunta en la misma dirección temporal, la cual resulta sustancialmente diferente de la otra debido a las propiedades globales y geométricas del espacio-tiempo.

Si bien $T^{0\alpha}{}_{V_{(\alpha)}}$ suele denominarse "vector de flujo de energía" (ver, por ejemplo, Hawking & Ellis 1973), estrictamente no es un vector porque no se transforma como un vector —de manera covariante— frente a las transformaciones de Lorentz: en cada punto del espacio-tiempo, $T^{0\alpha}{}_{V_{(\alpha)}}$ representa el flujo de energía solo en la base $V_{(\alpha)}$. Sin embargo, esto no resulta un obstáculo para transferir la flecha del tiempo global al ámbito local. En efecto, la condición de energía dominante es una condición covariante, por lo tanto, si el flujo de energía es no tipo-espacio en un sistema de referencia, es no tipo-espacio en todo sistema de referencia. En otras palabras, no importa qué base ortonormal se elija, el flujo de energía en esa base, representado por $T^{0\alpha}{}_{V_{(\alpha)}}$, puede utilizarse para establecer la flecha del tiempo (Castagnino, Lara &

Lombardi 2003b; Castagnino & Lombardi 2004). Sobre esta base, puede decidirse convencionalmente que, en cada punto del espacio-tiempo, el semicono de luz futuro C^+ es el que contiene el flujo de energía o al que pertenece el flujo de energía, cualquiera sea la base elegida: es posible así establecer la orientación temporal de manera local para todo el espacio-tiempo. De todos modos, es importante recordar que si bien la terminología es convencional, la orientación temporal se asienta sobre la diferencia sustancial entre las dos direcciones temporales basada en las propiedades globales del espacio-tiempo.

5. Relación entre la flecha global y geométrica, y la invariancia ante inversión temporal de las leyes

La presentación de la sección anterior deja claro que la flecha del tiempo puede definirse a nivel global sin la necesidad de recurrir a la t-invariancia de las leyes físicas. No obstante, esto no significa que no deba explorarse la relación entre la flecha global así definida y la t-invarianacia de las leyes. Esta tarea se llevará a cabo en las próximas dos subsecciones respecto a las leyes físicas locales y a las propias leyes relativistas generales.

5.1. Rompiendo la simetría de los gemelos t-simétricos

El enfoque local tradicional del problema de la flecha del tiempo debe su origen a los intentos de reducir la termodinámica a la mecánica estadística: en este contexto, la respuesta al problema consistió en definir el futuro como la dirección del tiempo en la que aumenta la entropía. Sin embargo, ya en 1912 Paul Ehrenfest y Tatiana Ehrenfest (1959) señalaban que, cuando la entropía se define en términos estadísticos a partir de la dinámica clásica subyacente, si la entropía de un sistema cerrado aumenta hacia el futuro, dicho aumento se corresponde con uno similar hacia el pasado del

sistema. En otras palabras, si rastreamos la evolución dinámica de un sistema fuera de equilibrio desde el tiempo inicial hacia el pasado, también obtendremos estados que están más cerca del estado de equilibrio.

Esta vieja discusión puede generalizarse a cualquier tipo de evolución que surja de leyes locales t-invariantes. En efecto, si $e(t)$ es una solución de una ecuación t-invariante, entonces $Te(t)$, donde z es el operador de inversión temporal, también es una solución. En general, cualquier ley t-invariante da lugar a lo que llamaremos "gemelos t-simétricos" (Castagnino, Lara & Lombardi 2003a), es decir, dos estructuras matemáticas simétricamente relacionadas por la transformación de inversión temporal T: cada "gemelo", que en algunos casos representa una evolución irreversible, es la imagen especular temporal del otro. El ejemplo tradicional de los gemelos t-simétricos es el que se da en el electromagnetismo, en el que las ecuaciones dinámicas siempre tienen soluciones avanzadas y retardadas relacionadas respectivamente con los estados entrantes y salientes en situaciones de *scattering*.

Desde el punto de vista de la teoría local que produce los gemelos t-simétricos, la diferencia entre ellos es solo convencional: ambos gemelos son nomológicamente posibles respecto a la teoría. Los argumentos tradicionales para descartar a uno de los gemelos y retener al otro invocan nociones temporalmente asimétricas que no están justificadas en el contexto de la teoría local. Por ejemplo, la naturaleza retardada de la radiación suele explicarse mediante argumentos de facto referidos a las condiciones iniciales: las soluciones avanzadas de las ecuaciones de onda corresponden a ondas convergentes que requieren un comportamiento emisor cooperativo "milagroso" de regiones espacialmente distantes en el origen temporal del proceso (uno de los primeros autores que considera el caso de la propagación de ondas en la discusión acerca del problema de la irreversibilidad y la t-invariancia es Karl Popper, en una serie de notas cortas sin título aparecidas en *Nature* entre 1956 y 1967).

Parece bastante claro que este tipo de argumentos, incluso si admisible en las discusiones sobre la irreversibilidad, no es legítimo en el contexto del problema de la flecha del tiempo, puesto que introduce la flecha "a mano" al presuponer la diferencia entre las dos direcciones del tiempo desde el comienzo. Es decir, estos argumentos violan la exigencia de adoptar una perspectiva atemporal depurada de

intuiciones temporales como las relacionadas con la asimetría entre pasado y futuro o entre condiciones iniciales y finales. Por tanto, desde un punto de vista atemporal, el desafío consiste en brindar un criterio no convencional, basado en argumentos teóricos, para elegir a uno de los gemelos t-simétricos como el físicamente significativo: tal criterio establecerá una diferencia sustancial entre los dos miembros del par.

El criterio deseado, que no puede ser legítimamente proporcionado ni por la teoría local ni por nuestras intuiciones preteóricas, viene dado por el flujo de energía local expresado en términos de $T^{0\alpha}{}_{V(\alpha)}$. De hecho, una vez que hemos decidido convencionalmente llamar a la dirección del flujo de energía positiva "futuro", en cada punto espacio-temporal el flujo de energía local define el semicono de luz futuro: la energía emitida en debe estar contenida en o pertenecer a $C^{+}(x)$. Por lo tanto, para cualquier teoría local, el gemelo correspondiente a este tipo de flujo de energía es el miembro del par que debe retenerse como físicamente significativo para representar la evolución dirigida hacia el futuro. En el caso del electromagnetismo, solo las soluciones retardadas cumplen la condición requerida, ya que describen estados salientes (de evolución espontánea) que se obtienen mediante energía proveniente del pasado y aportan energía hacia el futuro. Esta ruptura de simetría introducida por el flujo local de energía puede análogamente aplicarse en decoherencia cuántica, medición cuántica, teoría cuántica de campos, en incluso en el caso de los gráficos de Feynman (ver Aiello, Castagnino & Lombardi 2008, sección 4). También en el caso de la irreversibilidad fenomenológica puede demostrarse que, cuando las teorías fenomenológicas se analizan en términos fundamentales, siempre es posible identificar —al modo en que lo hicieron los Ehrenfest— una segunda solución irreversible que evoluciona hacia el pasado, de modo tal que solo el flujo de energía local es el factor que rompe la simetría temporal del par de gemelos t-simétricos (ver Aiello, Castagnino & Lombardi 2008, sección 5).

En definitiva, las leyes t-invariantes de una teoría local producen soluciones temporalmente especulares que son solo convencionalmente distintas a la luz de la teoría. Es a través de la flecha del tiempo global —definida como la asimetría temporal del espacio-tiempo que se expresa localmente como un flujo de energía dirigido hacia la misma dirección en todo el universo— que se rompe la simetría de los pares

de gemelos t-simétricos que resultan de las leyes fundamentales t-invariantes de la física.

5.2. Invariancia ante inversión temporal en relatividad general

La relatividad general es t-invariante en el sentido de que, para cualquiera de los modelos de las ecuaciones de campo de Einstein, si se invierte la dirección en la parametrización de todas las curvas tipo-tiempo y tipo-luz del espacio-tiempo, se obtiene otro espacio-tiempo que también es modelo de las ecuaciones. En otras palabras, frente a inversión temporal se obtiene un par de "gemelos t-simétricos": dos soluciones, cada una de las cuales es la imagen especular temporal de la otra, ambas posibles en relación con las leyes de la relatividad general. En este punto, el fantasma de la simetría parece amenazar nuevamente. Ahora deberíamos proporcionar un criterio no convencional para elegir una de las dos soluciones nomológicamente admisibles. Sin embargo, la amenaza puede superarse cuando las suposiciones implícitas involucradas en el problema son explícitamente formuladas.

Cuando se asume la necesidad de elegir una entre dos soluciones posibles, se supone que cada una de ellas describe un universo posible diferente: hay dos objetos posibles y es necesario decidir cuál de ellos corresponde al universo actual. Pero, ¿por qué los dos universos posibles son diferentes? La respuesta parece obvia: son diferentes porque están ordenados en el tiempo en sentidos opuestos. Esa respuesta es aceptable cuando se describe un sistema inmerso en un entorno: este trasfondo permitiría distinguir entre ambas soluciones y decidir cuál de ellas describe adecuadamente el sistema de interés, pero cuando el sistema es el universo completo, no hay entorno. La pregunta es entonces: ¿qué significa que ambos universos posibles son temporalmente opuestos?

En sí mismos, los enunciados "dos universos posibles son temporalmente opuestos" o "dos universos posibles están ordenados en el tiempo en direcciones opuestas" presuponen que existe un tiempo único, común a ambos universos posibles, respecto al cual podemos decir que uno se opone al otro. Pero suponer que

podemos hablar de manera significativa sobre un tiempo común a dos universos posibles, como si existiera un tiempo "fuera" del espacio-tiempo mismo, es completamente contrario a la interpretación estándar de la relatividad general. Según esta interpretación, el tiempo —o mejor, el espacio-tiempo— coexiste con el universo: no es admisible distinguir entre el universo y el espacio-tiempo de la misma manera que dividimos entre contenido y contenedor. Es decir, cada universo tiene su propio espacio-tiempo, y no existe un punto de vista temporal, externo a ambos universos posibles, desde el cual podamos compararlos. Si esto se comprende, no tiene sentido afirmar que, cuando se obtienen dos soluciones de las ecuaciones de campo, una imagen especular temporal de la otra, dichas soluciones describen dos universos posibles cuya diferencia consiste en oponerse temporalmente: por el contrario, tales soluciones son descripciones diferentes pero equivalentes de un mismo universo posible.

Desde un punto de vista más general, esta conclusión se enmarca en el modo en que son concebidas las simetrías en el ámbito de la física, donde suele distinguirse entre transformaciones espacio-temporales continuas y discretas: la traslación espacial, la rotación espacial y la traslación temporal son transformaciones continuas; por el contrario, la reflexión espacial y la inversión temporal son transformaciones discretas. A su vez, bajo la interpretación activa, una transformación corresponde al cambio de un sistema por otro; bajo la interpretación pasiva, una transformación consiste en el cambio del punto de vista desde el cual se describe el sistema. La posición habitual sobre las simetrías asume que, en el caso de transformaciones discretas, solo la interpretación activa tiene sentido, ya que el observador no puede reflejarse espacialmente ni invertirse temporalmente para describir el sistema desde la perspectiva opuesta. Esto es cierto cuando el observador idealizado está inmerso en el mismo espacio-tiempo que el sistema observado. Sin embargo, cuando el sistema es el universo como un todo, ¿cómo se supone que el observador debe rotar en el espacio para describir el sistema desde una perspectiva espacial diferente? Puesto que no hay espacio fuera del espacio-tiempo, no podemos cambiar nuestra orientación espacial con respecto al universo: es tan imposible rotar en el espacio como invertir el tiempo. Pero esto no implica que la interpretación activa sea la correcta: ¿cuál es el significado conceptual de la idea de dos universos idénticos, uno trasladado en

el espacio o en el tiempo respecto al otro? Estas observaciones apuntan al hecho de que ambas interpretaciones de las transformaciones de simetría, cuando se aplican al universo como un todo, colapsan en un sinsentido conceptual.

En la cosmología contemporánea, las transformaciones de simetría no se interpretan en términos de un cambio de un sistema a otro, ni en términos de un cambio del punto de vista del observador. De hecho, dos modelos matemáticos para el universo, definidos por $(M,g_{\mu\nu})$ y $(M',g'_{\mu\nu})$, se consideran equivalentes si son isométricos, es decir, si existe un difeomorfismo $\theta: M \rightarrow M'$ que conduce de la métrica a la métrica (Hawking & Ellis 1973). En particular, las transformaciones de simetría son isometrías: los modelos relacionados por una transformación de simetría son isométricos. Por lo tanto, dos modelos y , donde es cualquier transformación de simetría, se consideran descripciones equivalentes de un mismo universo. Earman y John Norton llaman a esta relación "equivalencia de Leibniz", según la cual los modelos difeomórficos representan la misma situación física; la negación de este principio está "en desacuerdo con los textos modernos estándar en relatividad general, en los que esta equivalencia se acepta sin cuestionar para el caso específico de variedades con métricas" (Earman & Norton 1987 522; ver también, Hawking & Ellis 1973). Estas precisiones enfatizan la importancia de proceder con gran cautela cuando las conclusiones válidas para regiones finitas del universo son extrapoladas al universo como un todo: nuestras convicciones filosóficas deben ser revisadas al pasar de un contexto local al nivel cosmológico.

En resumen, la t-invariancia de las ecuaciones de campo de Einstein no amenaza el enfoque global geométrico. Como afirma Eric Curiel,

> […] la regla para construir la inversión temporal de un espacio-tiempo relativista (temporalmente orientable) es dejar todo igual excepto por el sentido de parametrización de las curvas temporales (y curvas nulas), sentido que debería invertirse. […] La mejor manera de ver esto es preguntando qué debería suceder con la métrica frente a la inversión del tiempo. Yo afirmo que la respuesta es: nada en absoluto (2017 88).

En otras palabras, el fantasma de los gemelos t-simétricos desaparece a nivel cosmológico: no es necesario brindar un criterio no convencional para seleccionar una de las dos soluciones nomológicamente admisibles ya que ambas son descripciones de un único universo posible.

6. Conclusiones

En este artículo se ha analizado la posibilidad de definir la flecha del tiempo para el universo como un todo, solo sobre la base de las características intrínsecas del espacio-tiempo. Como fue señalado, cuando la cuestión se aborda desde un punto de vista atemporal, el problema consiste en establecer si y bajo qué condiciones es posible construir un modelo del universo que resulte temporalmente asimétrico respecto a las propiedades geométricas del espacio-tiempo; en tal modelo es posible distinguir entre las dos direcciones del tiempo exclusivamente sobre la base de consideraciones geométricas, sin referencia a argumentos entrópicos o a la distinción entre pasado y futuro basada en nuestra percepción subjetiva del tiempo. Esta investigación lleva a concluir que, contrariamente a lo que generalmente se supone, la invariancia frente a inversión temporal de las leyes físicas no es un obstáculo para la definición de una flecha global del tiempo.

Esta conclusión no implica que esa flecha del tiempo así definida emergerá en todos los universos posibles descriptos por la relatividad general: la existencia de una flecha global está restringida por la orientabilidad temporal del espacio-tiempo y la posibilidad de definir un tiempo global. No obstante, los modelos estándar de la cosmología contemporánea, basados en la métrica de Robertson-Walker, cumplen ambos requisitos. En efecto, los modelos Robertson-Walker suministran las bases para la teoría del Big Bang, que ha resultado extremadamente exitosa en la explicación de muchas características relevantes del universo observable. Este tipo de modelos cuentan no solo con tiempo global, sino también con tiempo cósmico, que permite coordinar las evoluciones de todos los cuerpos del universo y en términos del cual los cosmólogos estiman la edad del universo. Es precisamente en este sen-

tido que los modelos Robertson-Walker recuperan una noción de tiempo análoga a la de la física prerrelativista, en la que el tiempo es un parámetro respecto al cual se describe la evolución de un sistema. Si se acepta, por tanto, que estos modelos describen, incluso aproximadamente, el universo real, entonces es posible concluir que la estructura del universo que habitamos introduce una diferencia intrínseca entre las dos direcciones del tiempo.

Por supuesto, este enfoque, si bien fecundo, no agota todas las preguntas relativas al problema de la flecha del tiempo. Una cuestión relevante en el ámbito de la física consiste en considerar la relación entre la flecha del tiempo global y geométrica, tal como fue presentada en este trabajo, con otras simetrías de la física, como la invariancia que impone el teorema CPT. Por otra parte, más allá de los confines de la física, puede preguntare cómo se vincula la asimetría temporal del universo, que se manifiesta localmente como un flujo tetradimensional de energía, con el modo en que los seres vivientes experimentan el devenir temporal. Si bien estas cuestiones exceden los límites del presente trabajo, ponen de manifiesto el amplio abanico de interrogantes que aún restan por abordar en una temática multidimensional como la que rodea al problema de la flecha del tiempo.

Agradecimientos

El presente trabajo ha sido posible gracias al apoyo del proyecto ID: 61785 financiado por la John Templeton Foundation.

Trabajos citados

Aiello, Matías, Castagnino, Mario & Lombardi, Olimpia. "The arrow of time: From universe time-asymmetry to local irreversible processes". *Foundations of Physics* 38 (2008): 257-292.

Albert, David. *Time and chance.* Cambridge, MA: Harvard University Press, 2000.

Callender, Craig. "Is time 'handed' in a quantum world?". *Proceedings of the Aristotelian Society* 100 (2000): 247-269.

Castagnino, Mario, Gadella, Manuel & Lombardi, Olimpia. "Time's arrow and irreversibility in time-asymmetric quantum mechanics". *International Studies in the Philosophy of Science* 19 (2005): 223-243.

Castagnino, Mario, Lara, Luis & Lombardi, Olimpia. "The cosmological origin of time-asymmetry". *Classical and Quantum Gravity* 20 (2003a): 369-391.

Castagnino, Mario, Lara, Luis & Lombardi, Olimpia. "The direction of time: From the global arrow to the local arrow". *International Journal of Theoretical Physics* 42 (2003b): 2487-2504.

Castagnino, Mario & Lombardi, Olimpia. "The generic nature of the global and non-entropic arrow of time and the double role of the energy-momentum tensor". *Journal of Physic*s 37 (2004): 4445-4463.

Castagnino, Mario & Lombardi, Olimpia. "A global and non entropic approach to the problem of the arrow of time". *Spacetime physics research trends. Horizons in world physics*, editado por Albert Reimer. Nueva York: Nova Science, 2005, pp. 73-108.

Castagnino, Mario & Lombardi, Olimpia. "The global non-entropic arrow of time: From global geometrical asymmetry to local energy flow". *Synthese* 169 (2009): 1-25.

Castagnino, Mario, Lombardi, Olimpia & Lara, Luis. "The global arrow of time as a geometrical property of the universe". *Foundations of Physics* 33 (2003): 877-912.

Costa de Beauregard, Oliver. "CPT invariance and interpretation of quantum mechanics". *Foundations of Physics* 10 (1980): 513-530.

Curiel, Eric. "A primer on energy conditions". *Towards a theory of spacetime theories*, editado por Dennis Lehmkuhl, Gregor Schiemann y Erhard Scholz. Basel: Springer, 2017, pp. 43-104.

Dürr, Detlef & Teufel, Stefan. *Bohmian mechanics. The physics and mathematics of quantum theory.* Dordrecht: Springer, 2009.

Earman, John. "An attempt to add a little direction to «the problem of the direction of time»". *Philosophy of Science* 41 (1974): 15-47.

_____. "The problem of irreversibility". *Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association 1986*, Vol. 2, editado por Andrea Woody. Chicago: Philosophy of Science Association, 1986, pp. 226-233.

_____. "What time reversal invariance is and why it matters". *International Studies in the Philosophy of Science* 16 (2002): 245-264.

Earman, John & Norton, John. "What price spacetime substantivalism? The hole story". *The British Journal for the Philosophy of Science* 38 (1987): 515-525.

Ehrenfest, Paul & Ehrenfest, Tatiana. *The conceptual foundations of the statistical approach in mechanics, 1912.* Ithaca: Cornell University Press, 1959.

Gasiorowicz, Stephen. *Elementary particle physics.* Nueva York: John Wiley and Sons, 1966.

Hawking, Stephen & Ellis, George. *The large scale structure of space-time*. Cambridge: Cambridge University Press, 1973.

López, Cristian. "Three facets of time-reversal symmetry". *European Journal for Philosophy of Science* 11 (2021): 1-19.

López, Cristian & Lombardi, Olimpia. "Space-time symmetries in quantum mechanics". *Quantum worlds. Perspectives on the ontology of quantum mechanics*, editado por Olimpia Lombardi, Sebastian Fortin, Cristian López & Federico Holik. Cambridge: Cambridge University Press, 2019, pp. 269-293.

Matthews, Geoffrey. "Time's arrow and the structure of spacetime". *Philosophy of Science* 46 (1979): 82-97.

North, Jill. "Two views on time reversal". *Philosophy of Science* 75 (2009): 201-223.

Peterson, Daniel. "Prospect for a new account of time reversal". *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 49 (2015): 42-56.

Popper, Karl. *Nature* 177 (1956a): 538.

_____. *Nature* 178 (1956b): 382.

_____. *Nature* 179 (1957): 1297.

_____. *Nature* 181 (1958): 402.

_____. *Nature* 207 (1965): 233.

_____. *Nature* 213 (1967a): 320.

_____. *Nature* 214 (1967b): 322.

Price, Huw. *Time's arrow and Archimedes' point: New directions for the physics of time.* Oxford: Oxford University Press, 1996.

Racah, Giulio. "Sulla simmetria tra particelle e antiparticelle". *Il Nuovo Cimento* 14 (1937): 322-326.

Roberts, Bryan W. "Three myths about time reversal invariance". *Philosophy of Science* 84 (2017): 315-334.

Sachs, Robert G. *The physics of time reversal.* Londres: University Chicago Press, 1987.

Sakurai, Jun John. *Modern quantum mechanics. Revised edition.* Reading, MA: Addison- Wesley, 1994.

Savitt, Steven F. "The direction of time". *The British Journal for the Philosophy of Science* 47 (1996): 347-370.

Sklar, Lawrence. *Physics and chance.* Cambridge: Cambridge University Press, 1993.

Schutz, Bernard F. *Geometrical methods of mathematical physics.* Cambridge: Cambridge University Press, 1980.

Visser, Matt. *Lorentzian wormholes.* Berlin: Springer-Verlag, 1996.

Watanabe, Satosi. "Symmetry of physical laws. Part 3: Prediction and retrodiction". Reviews of Modern Physics 27 (1955): 179-186.*

Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia
Vol. 22 n.o 44 (2022): 133-167
ISSN: 0124-4620 (papel) & 2463-1159 (electrónico)

Fecha de recepción: 11/01/2022
Fecha de aprobación: 05/04/2022
Fecha de publicación: 29/06/2022
https://doi.org/10.18270/rcfc.v22i44.3865

La lógica de la investigación científica: Charles Sanders Peirce*

The Logic of Scientific Inquiry: Charles Sanders Peirce

Álvaro Enrique Pereira Reyes
Universidad Nacional Autónoma de México
Bogotá, Colombia.
enriqueppensamiento@gmail.com

RESUMEN

El presente artículo tiene el propósito de describir y analizar de manera sistemática la naturaleza de la lógica de la investigación científica que viene principalmente caracterizada por el método científico y el razonamiento o inferencia abductiva propuesta por el filósofo pragmatista Charles Sanders Peirce. El texto inicia con una crítica hacia la postura racionalista de Descartes y trascendentalista de Kant. Prosigue tanto con una explicación de las nociones de "duda" y "creencia" como con una descripción de los métodos para fijar nuestras "creencias" (método de la tenacidad, método de la autoridad, método a priori y método científico). Y concluye con la dilucidación del método científico, cuya naturaleza se encuentra determinada por las tres formas de razonamiento o inferencia: abducción, deducción e inducción.

Palabras clave: duda; creencia; investigación científica; lógica; abducción; deducción; inducción.

* Este artículo se debe citar: Pereira Reyes, Álvaro Enrique. "La lógica de la investigación científica: Charles Sanders Peirce". *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia* 22.44 (2022): 133-167. *https://doi.org/10.18270/rcfc.v22i44.3865*

ABSTRACT

This article aims to describe and analyze the nature of the logic of scientific inquiry, which is mainly characterized by the scientific method and abductive reasoning, or inference proposed by the pragmatist philosopher: Charles Sanders Peirce. The text begins with a critique of the rationalist position of Rene Descartes and the transcendentalist framework of Immanuel Kant. This article continues to explain the notions of "Doubt" and "Belief" and a description of the methods for fixing our "beliefs" (the method of tenacity, authority, a priori and scientific). And it concludes with an explanation of the scientific method, whose nature is determined by the three forms of reasoning or inference: abduction, deduction, and induction.

Keywords: doubt; belief; scientific inquiry; logic; abduction; deduction; induction.

1. Introducción

Cuando se habla de los grandes filósofos del siglo XIX, de aquellos que contribuyeron a la formación de la filosofía contemporánea, a la creación de sus corrientes de pensamiento y a su desarrollo conceptual, el nombre de Charles Sanders Peirce aparece en primer plano, con la aureola de la grandeza, la creatividad y la sistematicidad.

Charles S. Peirce nace el 10 de septiembre de 1839 y muere el 19 de abril de 1914. Se le suele atribuir un rasgo intelectual polifacético, pues varias de sus contribuciones intelectuales se destacaron en áreas como la ciencia y la filosofía, sobre todo en esta última, en la cual funge como precursor del pragmatismo y la semiótica. El pragmatismo se define como una corriente filosófica centrada en la vinculación de la teoría y la práctica. Sin embargo, para Peirce, el pragmatismo no puede ser considerado una corriente filosófica, sino que es un método de pensamiento para afirmar

los significados de palabras duras y de conceptos abstractos (Peirce 2012b).[1] Peirce sostiene que la única forma de juzgar el significado de un concepto es por medio de sus efectos prácticos concebidos en la experiencia, por este motivo los conceptos no pueden definirse por otros conceptos ni a priori. La semiótica, en cambio, se define como la disciplina filosófica centrada en el estudio de los signos, la significación y la representación.[2]

Ahora bien, vale la pena mencionar que el pragmatismo y la semiótica no fueron las únicas áreas de interés que desfilaron en el foco intelectual de Peirce, también estaba la metodología científica, cuyo estudio constituyó uno de los principales intereses de Peirce a lo largo de su vida. Peirce sostiene, de igual manera que sus contemporáneos, el carácter autocorrectivo del razonamiento científico, en particular de la inducción. Sin embargo, para Peirce la inducción no determina el razonamiento

---

1 El pragmatismo de Peirce (2012l 427) se enunció principalmente en forma de máxima tal como sigue: "Considérese qué efectos, que pudiera concebiblemente tener consecuencias prácticas, concebimos que tiene el objeto de nuestra concepción. Entonces, nuestra concepción de esos efectos constituye la totalidad de nuestra concepción del objeto"; según la interpretación de Mauricio Beuchot (2019 13), "Con su máxima pragmática Peirce fue una especie de Hume, que depuró la metafísica de muchas oscuridades […]". A pesar de su formulación en forma de máxima, Peirce no estaba de acuerdo con el nombre de su nueva teoría, es decir, el pragmatismo, debido a las interpretaciones erróneas que algunos colegas suyos, como William James, habían hecho de su máxima; así pues, Peirce decidió cambiar el término "pragmatismo" por "pragmaticismo", cuya palabra, manifestaba Peirce (1905b 415), "es lo suficientemente fea para estar a salvo de secuestradores". Más aún, Peirce (2012h 442) expresa lo siguiente: "[…] inventé la palabra *pragmaticismo* para denotar precisamente aquello que anteriormente quise que significara *pragmatismo*".

2 El signo, que es el elemento central en la teoría semiótica, está constituido por tres elementos inmersos en una relación triádica, a saber: el *objeto*, el r*epresentamen* y el *interpretante*, a partir de los cuales se da la significación y, a su vez, se relacionan con las tres categorías propuestas por Peirce en su teoría fenomenológica: *primeridad*, *segundidad* y *terceridad* (Peirce 2012j). En palabras de Peirce (2012e 346), "Un *Signo*, o *Representamen*, es un Primero que está en tal relación triádica genuina con un Segundo, llamado su Objeto, que es capaz de determinar a un Tercero, llamado su *Interpretante*, para que asuma la misma relación triádica con su Objeto en la que él mismo está respecto a ese mismo Objeto"; en otras palabras, el signo es la traducción de un signo a partir de otro mediante la acción o el proceso *semiósico*, cuyo movimiento hace posible el nacimiento de un signo superior y más sofisticado que el anterior (Niño 2008).

científico, sino que forma solo una pequeña parte del método científico, que viene principalmente caracterizado por el tipo de razonamiento o inferencia a la que denomina "abducción".

El principal motor de la investigación científica reside en una peculiar operación de la mente por la cual emerge una hipótesis o conjetura capaz de explicar los fenómenos de la naturaleza o los hechos que nos sorprenden. La abducción se trata de una manera de razonar que combina la lógica con la creatividad y que entraña una novedad; aunque no sería posible sin conocimientos previos, Peirce le otorga un carácter originario, afirmando que algo nuevo puede entrar en nuestro conocimiento. La abducción permite que la creatividad y el nuevo pensamiento se hagan presentes en la investigación; sin embargo, por sí sola no puede dar lugar al efectivo avance de la ciencia, que solo se produce mediante el desarrollo de la metodología científica completa, con la cual se incluye a la deducción e inducción.

2. Crítica a la filosofía moderna

En el *Journal of Speculative Philosophy* (un compendio de tres artículos), escrito en 1868, Charles S. Peirce explica con claridad algunos de los problemas propios de la filosofía cartesiana y el trascendentalismo kantiano; en particular, trata los problemas relativos a la "duda metódica", al carácter intuicionista puro de la autoconsciencia y a la naturaleza dual de la realidad escindida en fenómenos y noúmenos, respectivamente. Este compendio, entre otras cosas, buscaba: 1) juzgar el carácter individual en la actividad epistémica y científica; y 2) formular una lógica de la investigación científica que fuese capaz de explicar la naturaleza del conocimiento y su crecimiento en las ciencias.

3. Crítica al cartesianismo

La filosofía de René Descartes (1596-1650), expuesta en sus obras *El discurso del método* (2010) y *Las meditaciones metafísicas* (2015) de 1637 y 1641, respectivamente, se basó en la aceptación de ciertas verdades de carácter esencial, no derivadas de la experiencia, y en la búsqueda de un sistema filosófico basado en estas verdades a priori, elaborado con ayuda del método de razonamiento al que Descartes denominó "duda metódica". Tal como indica su nombre, este es un método cuyo objetivo se centra en la fundamentación radical del conocimiento y consiste en el rechazo de aquellas creencias de las cuales pueda plantearse una duda. Los sentidos, el mundo externo, la certeza de las matemáticas y la recta razón no superan a la "duda metódica", pero el *cogito* es lo único que puede resistir los ataques de la "duda metódica". Este método, entre otras cosas, le sirvió a Descartes para descubrir, por una parte, el cogito, concepto que expresa la verdad plena o la primera verdad ("Pienso, luego existo"), y, por otra parte, la realidad especial a que dicha verdad se refiere: la mente autoconsciente (Descartes 2010).

En su artículo "Algunas consecuencias de cuatro incapacidades" de 1868, Peirce (2012a) enfocó el problema sobre la fundamentación del conocimiento de una manera totalmente distinta. En efecto, este artículo aparece como un claro contraste con la posición de Descartes quien, en la obra aquí incluida, manifestó claramente su enfoque: la duda desempeña un papel puramente metódico en la construcción del conocimiento. En cambio, Peirce propone que los prejuicios tienen una genuina referencia a la duda y juegan un papel fundamental en la construcción del conocimiento. Ciertamente, el conocimiento en términos peirceanos no se manifiesta de manera dogmática e infalible, sino que su naturaleza es falible, de tal suerte que el falibilismo descansa sobre el sinequismo o su doctrina de la continuidad a fin de proporcionarle continuidad al conocimiento, reconociendo que nunca es absoluto.

Peirce (2012a) argumenta a favor de los "prejuicios" en la construcción del conocimiento. Trata de mostrar que los individuos no parten de ninguna "máxima" (la duda metódica) cuando razonan, sino que lo hacen a partir de sus propios prejuicios o creencias; de esta manera, la "duda metódica" establecida por Descartes como fun-

damentación del conocimiento queda relegada. Ninguno de los prejuicios con los que cuentan los individuos puede disiparse a través de una "máxima", ya que estos no son cosas que se nos ocurra que puedan cuestionarse. Es cierto, continúa Peirce, a lo largo del tiempo los individuos pueden llegar a cuestionarse sus propias creencias; sin embargo, no se las cuestionan según una "máxima" impuesta, sino porque ellos mismos poseen razones suficientes para dudar sobre ellas (Peirce 2012a).

No es difícil comprender los motivos de Peirce para articular su crítica contra la "duda metódica" postulada por Descartes, ya que ella constituye el ejemplo más claro en la fundamentación epistémica; sin embargo, no es la más apropiada. Luego de sugerir su juicio contra la "duda metódica", Peirce pasa a formular su crítica contra la caracterización intuicionista pura que ofrece el mismo Descartes a favor de la autoconsciencia.

En su obra *Las meditaciones metafísicas* (2015 [1641]), a partir de la "duda metódica", Descartes sugirió rechazar como inadecuadas aquellas creencias de las que pudiera plantearse una duda, ya que pretendía proporcionar un fundamento sólido sobre el cual descansaran nuestros conocimientos. Por eso, de las creencias de las cuales pudiera plantearse una duda, se incluían: el papel de los sentidos, la realidad del mundo externo, la certeza de las matemáticas, la certeza de la recta razón e incluso nuestra propia existencia. Con respecto a esta última creencia, Descartes se cruza con una verdad indubitable (o indudable), de la cual no puede dudarse, ya que por más de que exista un "genio maligno" que nos haga dudar de todo, sobre lo único que no puede engañarnos es sobre la duda; es decir, si se duda es porque se está seguro de que se está dudando, nadie nos puede engañar con respecto a esto. Pero, además, cuando se duda también es porque se está pensando, y, más aún, si se piensa, entonces se existe (*cogito*, *ergo sum*). Así pues, el "yo existo" se erige como la primera verdad indubitable (Descartes 2015). El cogito, ergo sum (pienso, luego existo), en su formulación silogística, no representa un simple razonamiento, sino una intuición de carácter puro. Por eso, la consciencia presupone siempre la autoconsciencia, es una intuición pura, dada de manera a priori.

Como Peirce aclara en "Algunas consecuencias de cuatro incapacidades" (2012a [1868]), la autoconsciencia no es algo a lo que se pueda llegar por medio de

una intuición pura e inmediata, tal como sustentaba Descartes mediante el *cogito*, sino que surge a partir del reconocimiento de nuestros yoes personales, que están determinados por cogniciones previas. Peirce no niega la existencia de la intuición, pero no acepta que la autoconsciencia esté determinada por ella. Durante su niñez, los individuos no poseen ninguna autoconsciencia conocida, la palabra yo en su uso tardío indica, más bien, una autoconsciencia imperfecta en ellos (Peirce 2012a). De este modo, los infantes desarrollan la autoconsciencia solamente cuando experimentan algo y sus deseos se ven frustrados por algún objeto o hecho de la experiencia:

> Un niño oye decir que la estufa está caliente. Pero no lo está, dice él; y, de hecho, ese cuerpo central no la está tocando, y sólo lo que toca está caliente o frío. Pero la toca, y encuentra confirmado el testimonio de una manera impresionante. De este modo, llega a ser consciente de la ignorancia, y es necesario suponer un yo en el que esta ignorancia pueda residir. De modo que el testimonio proporciona el primer despertar de la autoconsciencia. (Peirce 2012a 63)

Según esto, la instancia particular que determina el primer "despertar" de la autoconsciencia no se da a partir de una intuición pura, sino que se da por medio de la ignorancia; en otras palabras, la autoconsciencia no surge a partir de una intuición pura, como pretendía Descartes mediante el *cogito*, sino que es el producto de una *inferencia* desplegada a partir de la ignorancia y el error. Peirce (2012a 63) lo expresa de la siguiente manera: "sabemos que a esa edad [los infantes] poseen poderes de entendimiento suficientes que les permiten inferir su propia existencia a partir de la ignorancia y el error".

4. Crítica al trascendentalismo kantiano

Entre otras cosas, Peirce expresó su inconformismo no solo ante la filosofía cartesiana, la "duda metódica" y el carácter intuicionista puro de la autoconsciencia, sino

también ante la influencia que el cartesianismo ejerció en las filosofías posteriores, en particular en la filosofía trascendental de Königsberg, Immanuel Kant (1724-1804). Por una parte, en su obra *Crítica de la razón pura* de 1781,[3] Kant se propuso dos objetivos: el primero, analizar los límites o capacidades de la razón, tal como lo indica el nombre mismo de la obra; el segundo, emprender una crítica tanto sistemática como demoledora de la metafísica, negando su estatus de ciencia. Por otra parte, la obra se divide en dos partes: 1) la "doctrina trascendental de los elementos", que a su vez se divide en tres partes más: la "estética trascendental", la "analítica trascendental", y la "dialéctica trascendental"; y 2) la "doctrina trascendental del método", de la cual no me ocuparé.

La "estética trascendental" versa sobre las formas a priori de la sensibilidad, entre las que se registran las intuiciones puras (espacio y tiempo); la "analítica trascendental" trata sobre las categorías a priori del entendimiento, las cuales se aplican a las intuiciones puras para generar conocimiento; y la "dialéctica trascendental" se refiere a las ideas de la razón pura que no se aplican a nada, se mueven en el vacío, puesto que no hay referente empírico y, por consiguiente, carecen de valor científico (Kant 2002); la "estética trascendental" es decisiva porque también introduce una distinción básica entre fenómenos y noúmenos o cosas en sí (Solé 2015). El fenómeno es el aspecto que las cosas ofrecen ante nuestros sentidos, es decir, el primer contacto que tenemos con las cosas, lo que denominamos experiencia. El noúmeno se refiere, en cambio, a un objeto no fenoménico, es decir, a un objeto que no pertenece a una intuición sensible, sino a una intuición suprasensible o intelectual.

Peirce trata de mostrar que el problema para el cual se "inventó" la dicotomía fenómeno-noúmeno es un problema que simplemente no existe. Según él, la distinción es innecesaria porque, entre otras cosas, lo nouménico, es decir, lo incognoscible, no puede guardar ninguna relación posible con el pensamiento. El pensamiento puede versar solamente sobre el terreno de la experiencia cognoscible.

[3] Tuvo su primera edición en 1781, sin embargo, Kant llegó a corregirla, publicando en 1787 una segunda edición.

Sin embargo, no hay que confundir lo incognoscible con lo desconocido, ya que hay realidades desconocidas pero cognoscibles que los individuos eventualmente pueden llegar a conocer, mientras que lo nouménico supone realidades incognoscibles a las que ningún individuo puede acceder, ni siquiera pensar. Peirce (2012a 69) expresa lo siguiente: "más allá de cualquier cognición, existe una realidad desconocida pero cognoscible; pero más allá de toda cognición posible, sólo existe lo autocontradictorio".

Vale la pena mencionar la naturaleza sígnica que Peirce le atribuye a los pensamientos. El pensamiento es un proceso inferencial que se desarrolla por medio de signos, es decir, mediante un tipo particular de signos que son los argumentos (Peirce 2012a). En el ámbito de la semiótica, un signo suele relacionarse con otro con el fin de formar un signo equivalente al inicial o superior. En ese orden de ideas, lo mismo ocurre con el pensamiento, el cual está determinado inferencialmente a partir de otros pensamientos pasados o anteriores, como lo expresa Peirce (2012a 68):

> La idea de que desde cualquier pensamiento debe haber habido otro pensamiento, tiene su análogo en el hecho de que, desde cualquier tiempo pasado, debe haber habido una serie infinita de tiempos. Decir, entonces, que el pensamiento no puede suceder en un instante, sino que requiere tiempo, no es sino otra manera de decir que todo pensamiento debe ser interpretado a través de otro, o que todo pensamiento se da en signos.

En resumen, Peirce se ocupa de mostrar que la distinción entre fenómenos y noúmenos es innecesaria porque lo nouménico no puede guardar ninguna relación posible con el pensamiento. Además, se diferencia de lo desconocido en que sí guarda relación posible con el pensamiento. Los pensamientos se vinculan también con los signos según la forma en la que operan, por lo cual es posible producir e interpretar pensamientos a través de otros.

5. Lógica de la investigación científica

Según hemos visto, Peirce critica la distinción entre lo fenoménico y lo nouménico como fue establecida por Kant en la *Crítica de la razón pura*, específicamente en la "lógica trascendental", y la "duda metódica" y el carácter intuicionista puro de la autoconsciencia como fue establecido por Descartes en el *Discurso del método* y *Las meditaciones metafísicas*, respectivamente. Desde luego, este nuevo modo de concebir el conocimiento, como un proceso mediado por el pensamiento, "trastoca la visión cartesiana del conocimiento como intuición y trasciende la postura kantiana que plantea que no conocemos más que el fenómeno, nunca la cosa en sí, el *noúmeno*" (Restrepo 2010 109). Peirce, en general, se opuso al nominalismo, corriente filosófica medieval que rechazaba lo universal, sin lo cual no sería posible postular leyes científicas, y de la cual eran partidarios no solo filósofos medievales como Guillermo de Ockham (1280-1347), sino filósofos modernos como Descartes y Kant, quienes dejaban la realidad escindida en pedazos. En lugar del nominalismo, Peirce profesó una suerte de realismo, similar al del filósofo medieval Duns Escoto (1266-1308), y, en lugar de la postura dualista, optó por un cierto monismo, caracterizado por la continuidad o el sinequismo (Beuchot 2019).

Otros dos aspectos a los que se encomendó Peirce en el *Journal of Speculative Philosophy* (2012a), como se dijo, se centraron en 1) juzgar el carácter individual en la actividad epistémica y científica, y 2) formular una lógica de la investigación científica capaz de explicar la naturaleza del conocimiento y su crecimiento en las ciencias. Con respecto a esta última, Peirce buscó proporcionar a la lógica de su propia autonomía, pues en la filosofía cartesiana la naturaleza del conocimiento y su crecimiento en las ciencias era totalmente inexplicable, y la lógica se reducía a explicaciones simplistas e inaceptables como: "Dios así lo quiso" (McNabb 2018).

En su propuesta filosófica, Descartes (2010 [1637]) buscaba cimentar el *cogito* como una "máxima" en la fundamentación y construcción del conocimiento a fin de proporcionar un sustento seguro y fiable a nuestros conocimientos; sin embargo, como vimos con Peirce, el razonamiento no parte de ninguna "máxima" (la duda metódica), sino que los individuos razonan a partir de sus propios prejuicios o creen-

cias, por lo que el *cogito* no puede tomarse como una "máxima" o principio serio en la investigación científica. Además, ningún individuo aislado puede buscar la verdad por sí mismo partiendo solamente del *cogito*; por el contrario, la verdad puede *buscarse* solamente a través de una comunidad de investigadores, quienes se encuentran situados e inmersos en el proceso de investigación público y observable:

> […] convertir así a los individuos singulares en jueces absolutos de la verdad resulta de lo más pernicioso. El resultado es que todos los metafísicos estarán de acuerdo en que la metafísica ha alcanzado un grado de certeza mucho más allá de las ciencias físicas; sólo que no se puede estar de acuerdo en nada más. […] como individuos, no podemos esperar razonablemente alcanzar una filosofía última que perseguimos; por tanto, sólo la podemos buscar para la *comunidad* de filósofos. (Peirce 2012a 73)

El interés filosófico de Peirce se centró en tratar de comprender la naturaleza de la investigación científica y sus métodos; por eso, los términos de su filosofía, a diferencia de los términos filosóficos en Descartes, no se presentan de manera axiomática sino de forma provisional. Peirce nos ofrece simplemente su perspectiva, que espera sea comprobada en el curso de la investigación (McNabb 2018). Para él, la filosofía y la ciencia no son ámbitos mutuamente excluyentes sino que se intersecan, por eso, confía que la filosofía, si espera florecer y progresar en el conocimiento, imite los métodos más exitosos de las ciencias particulares (Peirce 2012a), aquellos que históricamente han arrojado resultados fructíferos para el conocimiento. Sin embargo, es importante, primero, tener clara la manera en la que la investigación científica logra sus resultados. Así pues, las metas de la investigación científica pueden alcanzarse a partir de una forma de razonamiento correcta: el método científico. Por lo tanto, es claro afirmar que las metas de la investigación científica pueden alcanzarse por medio de la implementación del método científico, que viene principalmente caracterizado por las tres formas de razonamiento o inferencia: abducción, deducción e inducción.

6. La acción del pensamiento (investigación): duda, creencia y hábito

Es posible encontrar los conceptos de "duda" y "creencia" desde hace largo tiempo en la literatura filosófica. Los logros filosóficos de René Descartes suelen presentarse bajo estas etiquetas. Sin embargo, las nociones de "duda" y "creencia" que Peirce pregona no deben confundirse con la "duda" y la "creencia" de Descartes, por ejemplo. La diferencia entre ellos posee la siguiente arista. La "duda" cartesiana es de naturaleza metódica, fundacionalista y se despliega mejor cuando es acompañada de certezas o verdades indubitables (o indudables); mientras, Peirce no se interesa por encontrar una "duda" que haga el papel de método a fin de erigir el edificio del conocimiento, ni supone que haya algo semejante. Como ya se ha visto, Peirce descarta el papel de una "máxima" (la duda metódica) por medio de la cual se pueda rechazar aquellas "creencias" de las que se pueda plantear una "duda" y, a su vez, represente el motor principal en la fundamentación de nuestro conocimiento. En cambio, Peirce parte por describir una interesante y sugestiva relación entre "duda", "creencia" y (añade) "hábito", cuya relación opera de la siguiente manera: la duda comienza por generar una especie de irritación que excita la acción del pensamiento, mediante el cual se busca el establecimiento o la fijación de una creencia en aras de producir hábitos de acción. Así pues, cualquiera que sea la causa que da lugar a la "duda", con total certeza estimulará el pensamiento a la acción o a la investigación. En resumen, la naturaleza de la "duda" es "total" en Descartes y en Peirce se presenta "parcialmente".

6.1. Duda, creencia y hábito

En 1877, Charles S. Peirce publicó un artículo titulado "La fijación de la creencia" (2012d), cuyo objetivo se centró en la descripción de la lógica de la investigación científica. En este texto el autor inicia por postular la existencia de dos estados mentales: la "duda" y la "creencia", entre los cuales oscila el ser humano a lo largo de su vida. En efecto, ambos estados conforman o constituyen un supuesto o principio

directriz denominado "principio de duda-creencia" (McNabb 2018), por el cual se pone en marcha la acción del pensamiento, es decir, la investigación. Veamos en qué se diferencian ambos estados.

Según Peirce (2012d), la duda y la creencia se diferencian por una cuestión práctica y se caracterizan por producir efectos positivos en los individuos. La duda, por una parte, se refiere a un estado mental que nos causa o genera irritación, la cual excita la acción del pensamiento, por el que se busca alcanzar el dominio de nuevas creencias o hábitos de acción. La duda es esencial porque promueve el avance del conocimiento, representa el inconformismo por parte del individuo ante una situación indeterminada o incomprendida, por eso, gesta una lucha que arranca con la investigación (o la acción del pensamiento) y finaliza con el establecimiento de una creencia. Por otra parte, las creencias son aquella que "[…] guían nuestros deseos y moldean nuestras acciones" (Peirce 2012d 161). Es decir, la conformación de nuestras creencias es más o menos un indicativo de que en nuestra naturaleza se han establecido ciertos hábitos por medio de los cuales determinamos nuestras propias acciones (Peirce 2012d). En otras palabras, nuestras creencias determinan hábitos de acción. Estos últimos, sin embargo, no pueden tomarse como instancias individuales de conducta, sino que son reglas generadas en virtud de su repetibilidad mediante las cuales se relacionan los aspectos de nuestras experiencia con los aspectos del mundo (McNabb 2018). Así pues, las creencias son anteriores a los hábitos y no a la inversa, ya que las primeras constituyen un sistema de pensamiento cuya expresión concreta se expresa a través del hábito. En palabras de Peirce (2012d 162): "la duda es un estado de inquietud e insatisfacción del que luchamos para liberarnos y pasar de un estado de creencia, mientras que [la creencia] es un estado tranquilo y satisfactorio que no deseamos evitar ni cambiar por una creencia en alguna otra cosa".

Desde luego, no todas las creencias son equivalentes: unas son más verdaderas o mejores que otras. El individuo ordinario es esclavo de creencias que no ha examinado críticamente, de modo que se arriesga a obrar mal. En cambio, el investigador, el que sopesa ideas o creencias antes de adoptarlas o rechazarlas, está en condiciones de actuar racional y eficazmente. En otras palabras, mientras que el individuo ordinario se arriesga a obrar mal de acuerdo con creencias que no ha examinado de ma-

nera crítica, el investigador es constructivo y lo que construye no se desploma en la primera crítica, porque ya ha pasado varias pruebas, sobre todo, la prueba empírica. Según esto, Peirce (2012d 162) expresa lo siguiente:

> […] tan pronto como alcanzamos una creencia firme nos sentimos totalmente satisfechos, con independencia de que sea verdadera o falsa. […] lo máximo que se puede afirmar es que buscamos una creencia que pensaremos que es verdadera.

En efecto, alcanzar cualquier tipo de creencia no debería considerarse signo de felicidad ni de satisfacción alguna, lo que realmente se debería perseguir son creencias verdaderas, sin embargo, estas se adquieren solamente a través del método científico, que viene principalmente caracterizado por el tipo de razonamiento o inferencia que Peirce denomina "abducción". Sin embargo, en la práctica, los individuos suelen apelar a otro tipo de métodos en aras de asegurar sus propias creencias, ya sea por falta de esfuerzo intelectual (método de la tenacidad), autoridad estatal (método de la autoridad) o imposición intelectual (método a priori). Según Peirce, dichos métodos son incapaces de garantizar la justificación necesaria para establecer creencias verdaderas, pues atentan contra el impulso social y la realidad (McNabb 2018), a excepción del método científico.

6.1.1. Método de la tenacidad

A través del método de la tenacidad los individuos suelen aferrarse tenaz u obstinadamente a sus creencias, sin importar su grado de veracidad. Según Peirce (2012d 164), este "método, simple y directo, es el que persiguen realmente muchos hombres […] hace que los hombres se aferren espasmódicamente a las ideas [o creencias] que ya tienen". Quienes lo defienden, por lo general, son individuos que suelen sentirse cómodos y satisfechos con lo que piensan, creen e incluso por cómo actúan. La única ventaja con la que cuenta dicho método es que es capaz de garantizar una ineludible paz.

El método de la tenacidad, entre otras cosas, se encarga de mantener inamovibles y sistemáticamente apartados a los individuos de todo aquello que pueda generar un cambio significativo en sus creencias. Así pues, quienes apelan por dicho método prefieren apartarse tanto de las opiniones o las creencias ajenas (o el impulso social) como de la realidad. Sin embargo, tratar de evitar la opinión de otros individuos o evadir la realidad misma se transforma en una labor infructuosa, puesto que dichos aspectos siempre jugarán en su contra. Por eso, el método de la tenacidad es incapaz de mantenerse en la práctica. Veamos por qué.

Por un lado, los individuos que han optado por justificar y establecer sus creencias apelando al método de la tenacidad por lo general suelen toparse con otros individuos que han decidido justificar y establecer sus propias creencias e ideas a través de otros métodos diferentes, por lo cual sobreviene ineludiblemente una confrontación entre los individuos que apelan por el método de la tenacidad y el resto de la sociedad. Esta es la manera como el impulso social juega contra el método de la tenacidad. Por otro lado, los individuos que han optado por justificar y establecer sus creencias apelando a dicho método se han topado con creencias que no guardan ninguna *correspondencia* con lo *real*, de tal manera que se han inclinado por prescindir de lo real a fin de salvaguardar sus propias creencias. Esta es la manera como la realidad juega contra el método de la tenacidad.

En conclusión, la justificación y fijación de nuestras creencias deja de ser una decisión meramente individual o inherente a la voluntad humana para transformarse en una decisión basada tanto en lo colectivo como en lo real (McNabb 2018).

6.1.2. Método de la autoridad

El método de la autoridad se caracteriza porque actúa "la voluntad del Estado en lugar de la del individuo" (Peirce 2012d 164). En otras palabras, la justificación y el establecimiento de nuestras creencias deja de ser una cuestión individual para transformarse en colectiva, que corresponde a un cuerpo político o social, específicamente a la figura del Estado, cuya labor se basa en representar los intereses particulares de los individuos.

El método de la autoridad de cierta forma se encarga de justificar el carácter autoritario del Estado, cuyo objetivo, en este caso, se centra en restringir algunas libertades y privilegios con los que cuenta el individuo. Por eso, el Estado es quien termina por decidir e imponer cuáles doctrinas tienen que enseñarse y mantenerse, y cuáles en cambio tienen que prohibirse y condenarse. Así pues, el Estado, a través de la ignorancia y la censura de diferentes formas particulares de pensamiento consideradas "nocivas" o "extrañas", puede continuar no solo perpetuando su poder y autoridad, sino también justificando y estableciendo las creencias de cada uno de los miembros de la sociedad. Según Peirce (2012d 165), el método de la autoridad "ha sido desde los primeros tiempos uno de los medios básicos de mantener las doctrinas políticas y teológicas correctas, y de preservar su carácter católico o universal".

No es difícil comprender los motivos de Peirce para articular su crítica contra el "método de la autoridad", pues aquel justifica la naturaleza autoritaria del Estado a través de la cual se intentan establecer nuestras creencias forzosamente y porque manifiesta características comunes al método de la tenacidad. Como se ha dicho, el impulso social y la realidad juegan en contra del método de la tenacidad, al igual que acontece con el método de la autoridad. Aunque se piense que lo social juega un papel preponderante en el método de la autoridad, ya que la justificación y fijación de nuestras creencias no depende de ninguna decisión individual o inherente a la voluntad humana, lo social en este caso juega contra la autoridad del Estado porque este se ha encargado por sí mismo de eliminar las creencias que considera "nocivas", aquellas que ponen en riesgo su autoridad. Además, algunas creencias impuestas por el Estado no se corresponden tampoco con lo real, por lo cual ha optado por prescindir de lo real a fin de perpetuar su carácter autoritario.

Ahora bien, es indudable que Peirce no aboga ni por el método de la tenacidad ni por el método de la autoridad, ya que ambos atentan contra el impulso social y la realidad. Peirce considera que un buen método es aquel que es capaz de generar y mantener un diálogo abierto entre los individuos. Por ello, el tercer y cuarto método: el método a priori y el método científico, respectivamente, son los siguientes partícipes en la discusión.

6.1.3. Método a priori

El método a priori "se encuentra en la historia de la filosofía metafísica" (Peirce 2012d 167) y se caracteriza por cimentar a la razón como guía en el establecimiento de nuestras creencias. Según Kant (2002 [1781]), el concepto a priori es un término que se diferencia del concepto a posteriori. El primero se refiere a aquel conocimiento adquirido con independencia de la experiencia, mientras que el segundo hace referencia a aquel conocimiento que se adquiere por medio de la experiencia (Kant 2002). Estos conceptos resultan fundamentales para comprender la discusión epistemológica originada en la época moderna, cuyo estudio se caracterizó por tratar de entender la naturaleza, el origen y los límites de nuestro conocimiento.

Ahora bien, si lo a priori se refiere a todo conocimiento adquirido con independencia de la experiencia, entonces los conocimientos adquiridos a priorísticamente dependen *necesariamente* de una facultad: la razón. ¿Por qué?, porque esta representa una facultad común a todos los individuos. Por consiguiente, si el método a priori se caracteriza por fundamentar a la razón como guía en la justificación de nuestras creencias, entonces cualquier cosa "aparentemente" agradable o acorde a la razón misma tiene que ser considerada verdadera. Sin embargo, hay conocimientos adquiridos de manera a priori que no guardan *correspondencia* con ningún fenómeno o hecho de la experiencia, de tal manera que las creencias que consideramos verdaderas a partir de dicho método son simplemente creencias que nos inclinamos a creer que son verdaderas y dependen más bien de una cuestión del gusto. Las creencias, según Peirce, tienen que ser sometidas al escrutinio tanto de la naturaleza como de la experiencia (Peirce 2012d).

En efecto, el método a priori es un método intelectual fundamentado en la razón mediante el cual decenas de filósofos a través de la historia han construido o justificado sus propias doctrinas filosóficas. Sin embargo, el método a priori, al igual que el de la tenacidad y el de la autoridad, atenta también contra el impulso social y la realidad. Como se ha dicho, la razón representa una facultad común que guardan los individuos, así que la justificación y fijación de nuestras creencias deja de ser una cuestión impuesta por el Estado para retornar a una cuestión impuesta por

la razón; es decir, la autoridad desciende desde el Estado hasta la razón. Por eso, la razón proclamada por los filósofos es lo que acaba por prevalecer y se transforma en la autoridad del pensamiento. Sin embargo, con esto se está atentando nuevamente contra el impulso social y la realidad.

Como se ha visto, las creencias no pueden justificarse mediante el método de la tenacidad ni el método de la autoridad ni el método a priori, ya que son insuficientes para dicha labor, y atentan contra el impulso social y la realidad. Por eso, Peirce opta por circunscribir una serie de criterios a los que un buen método tiene que ajustarse: 1) las creencias tienen que ser determinadas por algo externo y no meramente humano, así el pensamiento no tendrá ningún efecto sobre ellas; 2) las creencias tienen que ser discutidas por una comunidad de expertos, sin importar su grado de veracidad; 3) las creencias tienen que ser sometidas a comprobación empírica y experimental con el fin de comprobar las hipótesis formuladas en el curso de la investigación.

6.1.4. Método científico

El método científico se relaciona de manera directa con la ciencia, por medio del cual se busca generar nuevos conocimientos. Según Peirce, es el método por antonomasia para justificar y establecer nuestras creencias responsable, fiable y conscientemente. Se diferencia del método de la tenacidad, el método de la autoridad y el método a priori: 1) al minimizar la influencia del individuo, apelando a la realidad externa y 2) al evitar colapsar contra el impulso social. Si el método científico se relaciona de manera directa con la ciencia, entonces, en principio, lo más justo sería ahondar en la naturaleza de la ciencia desde la interpretación de Peirce.

En su artículo "La naturaleza de la ciencia", publicado en 1905, Peirce (1996) trata de mostrar que el principal objetivo de la ciencia se basa en la búsqueda de la verdad. Sin embargo, esta labor no es posible a partir de los estudios en solitario de un individuo, sino a través de una comunidad de investigadores, quienes emplean métodos constantemente, discuten, comparten ideas y generan resultados de manera prolongada en sus investigaciones:

> Por lo que entiendo por "ciencia" […] es la vida dedicada a la búsqueda de la verdad de acuerdo con los mejores métodos conocidos por parte de un grupo de hombres que entienden las ideas y los trabajos de cada uno como ningún extraño puede hacerlo. No es lo que ya han descubierto lo que hace de su ocupación una ciencia, sino el que estén persiguiendo una rama de la verdad de acuerdo con los mejores métodos que en su tiempo conocen. No llamo ciencia a los estudios solitarios de un hombre aislado. Solo cuando un grupo de hombres, más o menos en intercomunicación, se ayudan y se estimulan unos a otros para comprender un conjunto particular de estudios como ningún extraño puede comprenderlos, llamo a su vida ciencia. (Peirce 1996 1)

Sin embargo, las investigaciones científicas delegadas por una comunidad de investigadores, cuyo propósito comunitario se basa en la búsqueda de la verdad, dependen única y exclusivamente de la realidad, ya que en ella es donde se someten a prueba sus métodos, se confirman sus resultados y se descubren las leyes naturales. Por esta razón, la ciencia tiene que presuponer la hipótesis de la realidad, sin la cual no podría explicarse la naturaleza de las leyes naturales, su carácter universal ni mucho menos la ciencia. Ahora bien, ¿qué es la realidad para Peirce? En su artículo "¿Qué es el pragmatismo?", de 1905, Peirce (2012k) sostiene que *realis* y *realitas* son palabras que aparecen en el siglo XIII con un significado muy preciso: "Es real aquello que tiene tales y cuales caracteres, ya piense alguien que tiene esos caracteres o no" (Peirce 2012k 423). Este es el significado que Peirce retoma en su artículo de 1878 "¿Cómo esclarecer nuestras ideas?": la realidad es "aquello cuyos caracteres son independientes de lo que cualquiera crea que son" (Peirce 2012b 185). La realidad, entonces, "es el modo de ser en virtud del cual la cosa real es lo que es" (Restrepo 2010 114).

Así pues, si la ciencia se apoya sobre la hipótesis de la realidad, sin la cual no sería posible, pero la realidad no se puede justificar ni definir a través de la misma ciencia porque se desplomaría en una falacia, en particular, en una petición de principio, entonces ¿cómo se define lo *real*? Según Peirce, la anterior definición no recoge la verdadera naturaleza de lo *real*, por que es necesario recurrir a su famosa "máxima

pragmática", a través de la cual se pretende afirmar los significados de palabras duras y de conceptos abstractos, en este caso, lo *real*:

> Considérese qué efectos, que pudieran concebiblemente tener repercusiones prácticas, concebimos que tiene el objeto de nuestra concepción. Entonces, nuestra concepción de esos efectos constituye la totalidad de nuestra concepción del objeto. (Peirce 2012b 180)

La "máxima pragmática" de Peirce nos acerca a tres cosas: la primera, a fijarnos en el objeto de nuestra experiencia; la segunda, a preguntarnos por todas las consecuencias o repercusiones prácticas que el objeto pueda tener en nuestra experiencia; y la tercera, a establecer nuestra concepción de todos los efectos prácticos que terminan por agotar nuestra concepción del objeto. En ese orden de ideas, el significado del concepto de lo *real*, concebido como el objeto de nuestra experiencia, es simplemente la suma total de todos sus efectos prácticos concebibles en la experiencia, es decir, la suma de todos los efectos sensibles producto de las cosas que participan de lo *real*.

El compromiso metafísico de Peirce con respecto a su posición *realista* pretende eludir la siguiente presunción: la justificación y el establecimiento de nuestras creencias dependen exclusivamente de algún aspecto inherente a la voluntad e idiosincrasia humana. Por el contrario, Peirce apela porque la justificación y el establecimiento de nuestras creencias dependa tanto de algún aspecto social como de la realidad, sobre todo de esta última. A pesar de minimizar el papel del individuo en la justificación y fijación de creencias, Peirce admite que las cosas que participan de lo real producen *necesariamente* efectos sensibles en cada uno de los individuos, quienes de alguna manera contribuyen a la formación de creencias. Sin embargo, las cosas que participan de lo *real* y que producen efectos sensibles en los individuos siguen un conjunto de leyes regulares que son descubiertas solamente a través de las leyes de la percepción, sometidas constantemente a la reflexión racional y la experiencia, y gracias a las cuales se puede llegar a descubrir cómo son las cosas:

> Hay cosas reales cuyas características son enteramente independientes de nuestras opiniones sobre las mismas; estos reales afectan a nuestros sentidos siguiendo unas leyes regulares, y aun cuando nuestras sensaciones son tan diferentes como lo son nuestras relaciones a los objetos, con todo, aprovechándonos de las leyes de la percepción, podemos averiguar mediante el razonar cómo son real y verdaderamente las cosas; y cualquiera, teniendo la suficiente experiencia y razonando lo bastante sobre ello, llegará a la única conclusión verdadera. (Peirce 2012d 168)

Sin embargo, llegar a descubrir cómo son las cosas verdaderamente requiere de la comunicación con una determinada comunidad de investigadores, quienes sopesan las creencias extraídas de la realidad de manera individual a fin de comprobar su veracidad. Para Peirce, una comunidad de investigadores, en principio, puede llegar a obtener diferentes resultados en el curso de una investigación; sin embargo, conforme sus métodos y procedimientos mejoran, sus resultados en algún punto llegarán a converger. Peirce (2012b 186) hace alusión a lo siguiente: "así es con toda investigación científica. Mentes diferentes pueden partir de puntos de vista sumamente antagónicos, pero el progreso de la investigación las lleva, por una fuerza exterior a ellas, a una y la misma conclusión". Así pues, continúa Peirce (2012b 186), "la opinión destinada a ser aquella con la que todos los que investigan estarán de acuerdo finalmente es lo que entendemos por verdad, y el objeto representado en esta opinión es lo real. Así explicaría yo la realidad". Con respecto a esto último, se podría afirmar que el grado de *correspondencia* que guarda la verdad con respecto a lo real dependerá del nivel y el acuerdo final sobre el que la comunidad de investigadores sea capaz de coincidir en sus investigaciones.

Ahora bien, si la ciencia y sus métodos con considerados las herramientas correctas para justificar y fijar nuestras creencias responsable, fiable y conscientemente, es correcto cuestionarse lo siguiente: ¿todas las certezas que la ciencia logra alcanzar por medio del método científico son correctas, infalibles e inmutables? En primer lugar, Peirce no se preocupa por las certezas que pueda llegar a alcanzar nuestro conocimiento, ya que para él cualquier conocimiento es potencialmente incompleto y

erróneo, incluso el conocimiento científico (falibilismo), sino que su preocupación radica en tratar de comprender cómo se genera verdaderamente el conocimiento científico, de tal suerte que presta sus esfuerzos intelectuales a indagar en la naturaleza del método científico, que viene caracterizada por los tres modos de razonamiento o inferencia: abducción, deducción e inducción.

7. Los tres modos de razonamiento o inferencia: abducción, deducción e inducción

Para la mayoría de los filósofos o lógicos es casi un conocimiento generalizado que las formas clásicas de razonamiento o inferencia se encuentran constituidas por la deducción y la inducción. Uno de los aportes más significativos de Peirce en la metodología científica consistió en haber incorporado, además de estos dos modos de razonamiento o inferencia, un tercero al que denominó "abducción". Peirce (2012f 61) afirma que el "razonamiento es el proceso mediante el cual alcanzamos una creencia que consideramos resultado de un conocimiento previo"; las creencias no son producto de una "intuición", como afirmaba Descartes, sino que son un producto derivado de una inferencia, como lo manifiesta Peirce (2012f 62): "una creencia dada puede considerarse como el efecto de otra creencia dada, sin que veamos claramente por qué o cómo. Habitualmente, tal proceso se llama inferencia […]. La palabra ilación significa un proceso de *inferencia*"; así pues,

> […] el razonamiento, en general, se llama a veces *raciocinio*. La *argumentación* es la expresión de un razonamiento. El *argumento* puede ser mental o expreso. La creencia a la que una inferencia conduce se llama *conclusión*, y las creencias de las que parte se llaman *premisas*. (62)

Veamos en qué consiste cada forma de razonamiento o inferencia.

7.1. Abducción

En su artículo "Un argumento olvidado en favor de la realidad de Dios", publicado en 1908, Peirce (2012n) sostiene que la abducción se ubica en la primera etapa del proceso de investigación científica y constituye un tipo de razonamiento o inferencia que se relaciona con la generación de hipótesis explicativas o con la producción de nuevas ideas. Según Peirce, la investigación científica se pone en marcha solamente cuando en la experiencia se manifiesta un fenómeno o hecho sorprendente que es capaz de romper con algún hábito o expectativa tanto del individuo ordinario como del investigador. Así lo expresa Peirce (2012n 527): "toda investigación cualquiera surge a partir de la observación […], de algún fenómeno sorprendente, alguna experiencia que frustra una expectativa, o rompe con algún hábito de expectativa".

Para Peirce, la abducción solamente se pone en marcha en el ámbito de la investigación cuando algún fenómeno o hecho sorprendente es capaz de romper con algún hábito o expectativa del investigador. Así pues, el investigador puede situarse frente a los datos particulares de la experiencia, aquellos que le ocasionan dudas o irritación a su amplio cuerpo de creencias, y luego proceder al planteamiento de conjeturas o hipótesis explicativas mediante la cuales pueda dar cuenta de aquel fenómeno o hecho sorprendente. Peirce (2012n 527) lo explica de la siguiente manera:

> La investigación comienza ponderando estos fenómenos en todos sus aspectos, a la búsqueda de algún punto de vista desde el cual pueda resolverse la duda. Con el tiempo surge una conjetura que proporciona una posible Explicación, por la que entiendo un silogismo que muestra el hecho sorprendente como necesariamente consecuente con las circunstancias, junto con la verdad de la conjetura creíble, como premisas. El investigador es llevado por esta Explicación a considerar favorablemente su conjetura o hipótesis.

En su artículo "El pragmatismo como lógica de la abducción" de 1903, Peirce (2012g) afirma que el primer paso en el proceso de investigación inicia con la abducción, que se caracteriza por ser un tipo de razonamiento o inferencia por medio del

cual se generan hipótesis explicativas capaces de dar cuenta de un fenómeno o hecho sorprendente. La generación de hipótesis explicativas sobre los fenómenos o hechos sorprendentes es un tipo de acción que Peirce denomina abducción y en su estructura silogística suele partir del consecuente hasta llegar al antecedente: "Se observa el hecho sorprendente, C; pero si A fuera verdadero, C no sería algo excepcional. Por lo tanto, hay razón para sospechar que A es verdadero" (2012g 299).

Como Peirce (2012c) aclara en su texto "Deducción, inducción e hipótesis" de 1878, la abducción como forma de razonamiento o inferencia es contraria tanto a la deducción como a la inducción, ya que busca inferir un caso a partir de una regla y un resultado. Una manera de ilustrar la abducción es a través del siguiente ejemplo: "se ha registrado un aumento considerable en la delincuencia durante el último año" (premisa); "lo más probable es que el aumento de la delincuencia se relacione con el aumento de la impunidad" (conclusión). Según esto, la premisa se refiere al hecho en cuestión, mientras que la conclusión pretende explicar aquel hecho. Así pues, la conclusión de aquella premisa no es más que la explicación probable del hecho hasta que se demuestre lo contrario. Por eso, la premisa de un razonamiento o inferencia abductiva solamente es capaz de brindar cierto grado de probabilidad a la conclusión, la cual es apenas la explicación más probable pero no *necesariamente* la verdadera.

Según hemos visto, la abducción se ubica en la primera etapa del proceso de investigación científica, aunque también se relaciona con la deducción e inducción. La abducción se encarga, en principio, de formular hipótesis de carácter explicativo con las cuales se procura dar cuenta de algún fenómeno o hecho sorprendente; la deducción se ocupa, en cambio, de generar un desarrollo lo suficientemente amplio y claro de las hipótesis formuladas; mientras, la inducción, en definitiva, se encarga de corroborar, rechazar o cambiar las hipótesis en cuestión mediante la contrastación empírico-experimental.

7.2. Deducción

La deducción se ubica en la segunda etapa del proceso de investigación científica, y se relaciona con la abducción y la inducción. La deducción se define como un sistema de razonamiento de carácter lógico que parte de juicios generales para llegar a conclusiones particulares referentes a un fenómeno o hecho. Otra de las características del razonamiento o inferencia deductiva es que pertenece al orden de lo analítico y explicativo, de tal manera que es incapaz de ofrecer nuevos conocimientos, a diferencia del razonamiento o inferencia abductiva, cuya naturaleza es sintética y ampliativa, y es capaz de ofrecernos nuevos conocimientos. Según Peirce (2012c), la deducción es la aplicación de una regla a un caso para obtener un resultado, porque explicar un fenómeno o un hecho particular significa enmarcarlo en una ley o regla general.

Una de las tareas del razonamiento o inferencia deductiva consiste en suministrar pruebas concluyentes a partir de sus premisas, ya que al partir de premisas verdaderas *necesariamente* se obtendrá una conclusión verdadera, cuya naturaleza ya viene implícita en las premisas. En otras palabras, de la verdad de las premisas se deriva *necesariamente* la verdad de la conclusión. Sin embargo, la verdad o la falsedad de una proposición atañe al terreno de la investigación científica, en cambio a la lógica le preocupa la validez o invalidez de una proposición.[4] La forma más perfecta del razonamiento o inferencia deductiva es el silogismo, cuya estructura básica está compuesta por una "premisa mayor", que funge como regla general, y una "premisa menor", que representa un caso particular, por medio de las cuales se busca proporcionar una conclusión (Peirce 2012c).

El silogismo denominado "bárbara", según Peirce, tipifica de manera particular el razonamiento deductivo,[5] cuya estructura formal se expresa de la siguiente ma-

[4] Por ejemplo, se pueden tener argumentos válidos que contengan proposiciones verdaderas, pero también se pueden tener argumentos válidos que contengan proposiciones falsas o argumentos inválidos que contengan proposiciones verdaderas.

[5] Sin embargo, no se sigue que sea la forma más apropiada para representar a toda clase de inferencia.

nera: S es M, M es P; luego S es P (Peirce 2012c). En ese orden de ideas, al cambiar las letras por palabras, se obtiene el siguiente ejemplo: Juan y Camilo eran hombres (S es M), todos los hombres mueren (M es P); luego, Juan y Camilo deben haber muerto (S es P). Ahora bien, en este ejemplo hay una aplicación de la regla general a un caso particular, ya que la premisa mayor: "Todos los hombres mueren" formula la regla; en cambio, la premisa menor: "Juan y Camilo eran hombres" enuncia un caso sometido a la regla. Así, la conclusión: "Juan y Camilo deben haber muerto" aplica la regla al caso y establece el resultado (Peirce 2012c).

Como se ha visto, la deducción representa la segunda etapa en el proceso de investigación científica y se relaciona con la abducción de la siguiente manera: primero, la abducción se encarga de generar hipótesis o conjeturas a partir de las cuales pretende explicar algún fenómeno o hecho sorprendente; luego, la deducción se encarga de generar un desarrollo lo suficientemente claro de las hipótesis formuladas por la abducción, de las cuales se analizarán e inferirán sus posibles consecuencias en el terreno de la experiencia.

7.3. Inducción

La inducción se ubica en la tercera etapa del proceso de investigación científica, y se relaciona con la abducción y la deducción. La inducción se define como un sistema de razonamiento de carácter lógico que parte de juicios particulares a fin de llegar a conclusiones generales referentes a una clase de fenómenos o hechos. El razonamiento o la inferencia inductiva opera de la siguiente manera: primero, enumera a todos los individuos de un grupo, luego determina la propiedad común a cada uno de los individuos de dicho grupo, y finalmente concluye la propiedad común que pertenece al grupo en cuestión. Otra de las características de la inducción es que su naturaleza es sintética y ampliativa, de tal manera que es capaz de ofrecer nuevos conocimientos, a diferencia de la deducción, cuyo carácter es analítico y explicativo, por tanto, es incapaz de ofrecernos nuevos conocimientos. Según Peirce (2012c), la

inducción es la inferencia de una regla general a partir de un caso y un resultado, ya que se trata de una generalización a la que se llega por medio de hechos particulares.

Para Peirce (2012c 236), "la inducción se da donde generalizamos a partir de un número de casos de los que algo es verdadero e inferimos que la misma cosa es verdadera de una clase entera […]". La inducción, entre otras cosas, se encarga de clasificar los hechos no observados bajo una ley o regla general, partiendo principalmente de la semejanza que conservan con los hechos observados previamente. En otras palabras, lo que es conocido en ciertos individuos se infiere que es común a otros individuos que pertenecen a la misma clase (Peirce 2012c).

Anteriormente, se explicó que el silogismo "bárbara" tipificaba de manera particular el razonamiento o inferencia deductiva. Al invertir dicho silogismo, según Peirce, se obtiene un silogismo inductivo mediante el cual ya no se aplica una regla a un caso para obtener un resultado, como en el silogismo deductivo, sino que la inferencia de la regla está dada por el caso y el resultado (Peirce 2012c). Para ilustrar esta situación, tomemos el siguiente ejemplo: el oro es un metal, el hierro es un metal, el oro y el hierro se funden con el calor; luego, todos los metales se funden con el calor. En este ejemplo, la regla general se infiere a partir del caso y el resultado, ya que las premisas menores "el oro es un metal" y "el hierro es un metal" representan los casos particulares, mientras que la premisa mayor "el oro y el hierro se funden con el calor" cumple la función de una regla. Así, la ley o regla general se encuentra determinada por la proposición "todos los metales se funden con el calor", por la cual no es necesario evaluar cada uno de los casos.

En retrospectiva se sabe que la abducción se encarga de generar hipótesis explicativas para dar cuenta de fenómenos o hechos sorprendentes, mientras que la deducción se encarga de generar un desarrollo lo suficientemente claro de las hipótesis formuladas con el fin de analizar e inferir sus posibles consecuencias en la experiencia, en caso de ser verdaderas. La inducción, por su parte, tiene la función de comprobar empírica y experimentalmente las hipótesis formuladas por medio de la verificación de sus predicciones. De esta manera, las hipótesis solo son admisibles siempre y cuando sean susceptibles de verificación empírico-experimental. Así, una hipótesis explicativa puesta a prueba procederá a ser rechazada o aceptada provisionalmente.

7.4. Relación entre los tres modos de inferencia: deducción, inducción y abducción

En su texto "Deducción, inducción e hipótesis" (2012c [1878]), Peirce explica con mayor claridad mediante una comparación de las tres formas de razonamiento o inferencia: deducción, inducción y abducción, a partir de su clásico ejemplo de las judías o alubias blancas. Veamos en qué consiste.

Para ilustrar la deducción, Peirce nos pide que imaginemos que ingresamos en una habitación en la cual se encuentran varias bolsas con diversos tipos de judías o alubias en su interior. En aquella habitación, observamos que uno de los sacos cuenta con solo judías o alubias de color blanco. Luego, nos disponemos a sacar un puñado de judías de aquella bolsa, de tal manera que antes de mirarlo, ya contamos con la certeza de que todas las judías extraídas de aquel saco serán de color blanco. Así es cómo se realiza un razonamiento o inferencia de tipo deductivo, ya que se aplica una ley o regla general a un caso para obtener un resultado (Peirce 2012c):

- *Regla*: todas las judías de esta bolsa son blancas.
- *Caso*: estas judías son de esta bolsa.
- *Resultado*: estas judías son blancas.

Para ilustrar la inducción, imaginemos ahora que al ingresar en la habitación tomamos un puñado de judías o alubias de uno de los sacos sin saber el color de la bolsa, pero al observarlas comprobamos que son de color blanco. Ahora bien, partiendo de aquella muestra de judías o alubias de nuestra mano, se puede inferir que todas las judías o alubias de aquel saco serán igualmente de color blanco. Así, se infiere una ley o regla general a partir de un caso y un resultado (Peirce 2012c).

- *Caso*: estas judías son de esta bolsa.
- *Resultado*: estas judías son blancas.
- *Regla*: todas las judías de esta bolsa son blancas.

Finalmente, para ejemplificar la abducción, simulemos que al ingresar en la habitación con los sacos de judías o alubias de manera sorpresiva observamos que hay un puñado de judías sobre una mesa. Luego de haber realizado una búsqueda inicial por aquella habitación, descubrimos que una de las bolsas cuenta con solo judías de color blanco. Entonces inferimos, como una posible conjetura o probabilidad, que aquel puñado de judías o alubias blancas que se encuentra sobre la mesa fue sacado de aquella bolsa. De este modo, se infiere el caso a partir de una regla y un resultado (Peirce 2012c).

- *Regla*: todas las judías de esta bolsa son blancas.
- *Resultado*: estas judías son blancas.
- *Caso*: estas judías son de esta bolsa.

Como se ha visto, a estos tres tipos de razonamiento o inferencia: deductiva, inductiva y abductiva, establecidos por Peirce en la lógica de la investigación científica y presentados de manera silogística se les suele clasificar en analíticos y sintéticos. Según Peirce, la deducción es de carácter analítico, mientras que la inducción y la abducción comparten la misma naturaleza sintética. La deducción es analítica porque su naturaleza es explicativa, es decir, no hace más que explicitar lo que ya está contenido en las premisas, por eso se toma como un pensamiento circular incapaz de añadir nueva información. La inducción y la abducción, en cambio, son sintéticas, ya que ambas formas de razonamiento o inferencia están dentro de una misma subclase y son capaces de generar conocimiento de tipo ampliativo. Ahora bien, cabe preguntarse lo siguiente: ¿cuál es la diferencia específica que hay entre la deducción y la abducción, y la inducción y la abducción, sabiendo que la deducción se diferencia de la inducción por partir de hechos generales para llegar a conclusiones particulares y que la inducción parte de hechos particulares para llegar a conclusiones generales?

La diferencia entre la deducción y la abducción radica en su carácter lógico, mientras que la diferencia entre la inducción y la abducción estriba en el objetivo que persiguen dentro de la investigación científica. Veamos. La deducción, como se ha visto, parte de un conjunto de premisas verdaderas a partir de las cuales se asegura

de manera necesaria la verdad de la conclusión. Por esta razón, a la deducción se le suele atribuir un control racional fuerte, ya que las premisas aseguran necesariamente la verdad de la conclusión. La abducción, en cambio, no cuenta con la misma seguridad que la deducción, puesto que las premisas no son capaces de asegurar de manera necesaria la verdad de la conclusión. Por eso, a la abducción se le suele atribuir un control racional débil, pero esto no afecta su carácter lógico, como afirma Peirce (2012g 299): "un argumento no es menos lógico por ser débil, a condición de que no pretenda tener una fuerza que no posee"; por el contrario, es una ventaja que favorece al investigador a la hora de formular y discriminar entre diversas hipótesis, porque cuenta con mayor libertad y creatividad para hacerlo.

En su artículo "Sobre la lógica de extraer la historia de documentos antiguos, especialmente de testimonios", publicado en 1901, Peirce (2012m) explica con mayor claridad las diferencias que hay entre la inducción y la abducción. Según Peirce (2012m 152), "la abducción […] es meramente preparatoria. Es el primer paso del razonamiento científico, así como la inducción es el paso concluyente". Por otra parte, la abducción arranca con fenómenos o hechos que buscan algún tipo de explicación, es decir, fenómenos o hechos que aún no cuentan con una ley o regla general que sea capaz de explicarlos. La inducción, en cambio, arranca con una serie de casos particulares que aún no están respaldados por los hechos. En otras palabras, la abducción busca teorías y la inducción hechos. En palabras de Peirce (2012m 163), la abducción "[está] motivada por la sensación de que necesita una teoría para explicar los hechos sorprendentes", mientras que la inducción "parte de una hipótesis que parece recomendarse a sí misma, sin que al principio tenga a la vista hechos particulares, aunque siente la necesidad de hechos para dar apoyo a la teoría" (163).

En resumen, la abducción, la deducción y la inducción son tres formas de razonamiento o inferencia que, en conjunto, conforman el razonamiento científico, y se caracterizan por tratar de dar cuenta de fenómenos o hechos sorprendentes por medio de la formulación de conjeturas o hipótesis explicativas (abducción), de las cuales se genera un desarrollo lo suficientemente claro (deducción) para luego ser contrastadas empírica y experimentalmente (inducción). La naturaleza de la induc-

ción y la abducción es sintética y ampliativa en comparación con la deducción, cuya naturaleza es analítica y explicativa.

8. Conclusión

Según hemos visto, la teoría de la ciencia en Peirce descansa sobre la hipótesis de la realidad y el falibilismo. El realismo, apoyado por la "máxima pragmática", es la postura metafísica que Peirce acoge por influencia de Duns Scoto, en contraposición a la postura nominalista atribuida a algunos filósofos medievales y modernos. El falibilismo, en cambio, asegura que ninguno de nuestros conocimientos, incluso los científicos, puede ser dogmático e infalible, sino que más bien son incompletos y erróneos. Ahora bien, para evitar el dualismo, Peirce recurre a una suerte de monismo, caracterizado por el sinequismo, cuya pretensión radica en considerar todo un continuum en el que no caben los dualismos y no se concibe que los fenómenos psíquicos y físicos sean enteramente distintos. Para Peirce, por ejemplo, la continuidad gobierna todas las esferas de la experiencia en cada uno de sus elementos.

El sinequismo es un término acuñado por Peirce a partir de su artículo de 1893 "La inmortalidad a la luz del sinequismo" (2012i) para designar el "principio de continuidad" que actúa en todos los ámbitos de la realidad. Según la concepción metafísica de Peirce, este principio de continuidad permite entender la posibilidad de la mediación y se relaciona con la categoría fenomenológica de la terceridad, que es aquella que posibilita la relación mediada de algo primero con algo segundo, la cual no podría presentarse si no hubiese continuidad entre los elementos relacionados.

La propuesta filosófica de Peirce, en general, se presenta de forma triádica mas no dual: "Esta relación triádica fundante no sólo es uno de los mayores aportes de Charles S. Peirce a nuestra reflexión contemporánea sino que también es el pilar que da unidad a su pensamiento arquitectónico, audaz y sugestivo, que incide en los más variados campos del saber" (Restrepo 2010 4). Por eso, no resulta gratuito que Peirce haya decidido fundamentar la arquitectónica de su pensamiento a partir de una relación triádica. Por ejemplo, su teoría fenomenológica está cimentada a partir de tres

categorías básicas: *primeridad*, *segundidad* y *terceridad*; su teoría semiótica se edifica de forma triádica a partir de los siguientes elementos: *objeto*, *representamen* (signo) e *interpretante*; y su teoría metodológica de la ciencia también descansa sobre la tres formas de razonamiento o inferencia: *abducción*, *deducción* e *inducción*. Es gracias al sinequismo o principio de continuidad introducido por Peirce en cada una de sus disciplinas: fenomenología, semiótica y metodología de la ciencia, que se entiende la posibilidad de la mediación entre todos los elementos que figuran en cada una de ellas. Con respecto al sinequismo, Peirce (2012i 50) sostiene lo siguiente:

> El sinequismo, aun en sus formas menos robustas, no puede tolerar el dualismo propiamente dicho. No desea exterminar la concepción de dualidad [twoness], ni tampoco ninguno de esos filosofadores maniáticos que emprenden campañas en contra de esta o aquella concepción fundamental puede encontrar la más pequeña comodidad en esta doctrina. Pero el dualismo, en su acepción legítima más amplia, como la filosofía que lleva a cabo su análisis con un hacha, dejando, como elementos últimos, pedazos aislados de ser, es sumamente hostil al sinequismo.

Peirce se enfrenta al dualismo, de tal suerte que la única manera de entender la posibilidad de la mediación entre dos elementos que aparentemente están separados es por medio de un tercer elemento, y dicha mediación es posible solamente gracias al sinequismo o principio de continuidad. Por ejemplo, en el ámbito de la investigación científica, la investigación es el elemento que vincula a la "duda" y la "creencia" ya que gracias a la irritación producida por la "duda" se genera la investigación por medio de la que se busca el establecimiento de una nueva "creencia", la cual es ponderada mediante el método científico, que viene principalmente caracterizado por el tipo de razonamiento o inferencia denominado "abducción".

Trabajos citados

Beuchot Puente, Mauricio. "El esquema fundamental de Peirce: el realismo". *La filosofía del pragmatismo*. Ciudad de México: Orfila, 2019, pp. 11-26.

Descartes, René. *El discurso del método*, traducido por Manuel García Morente. Madrid: Espasa Calpe, 2010.

Descartes, René. *Las meditaciones metafísicas*. Madrid: Gredos, 2015.

Kant, Immanuel. *La crítica de la razón pura*, traducido por Pedro Ribas. Madrid: Taurus, 2002.

McNabb, Darin. *Hombre, signo y cosmos. La filosofía de Charles S. Peirce*. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica, 2018.

Niño, Douglas. *Ensayos semióticos.* Bogotá: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 2008.

Peirce, Charles Sanders. *La naturaleza de la ciencia*, traducido por Sara Barrena, 1996. https://www.unav.es/gep/NaturalezaCiencia.html

Peirce, Charles Sanders. "Algunas consecuencias de cuatro incapacidades". *C. S. Peirce, obra filosófica reunida (1867-1893) / Charles Sanders Peirce*, editado por Nathan Houser & Christian Kloesel, traducido por Darin Mcnabb. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica, 2012a, pp. 72-99.

Peirce, Charles Sanders. "Cómo esclarecer nuestras ideas". *C. S. Peirce, obra filosófica reunida (1867-1893) / Charles Sanders Peirce*, editado por Nathan Houser & Christian Kloesel, traducido por Darin Mcnabb. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica, 2012b, pp. 172-188.

Peirce, Charles Sanders. "Deducción, inducción e hipótesis". *C. S. Peirce, obra filosófica reunida (1867-1893) / Charles Sanders Peirce*, editado por Nathan Houser & Christian Kloesel, traducido por Darin Mcnabb. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica, 2012c, pp. 233-246.

Peirce, Charles Sanders. "La fijación de la creencia". *C. S. Peirce, obra filosófica reunida (1867-1893) / Charles Sanders Peirce*, editado por Nathan Houser & Christian Kloesel, traducido por Darin Mcnabb. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica, 2012d, pp. 157-171.

Peirce, Charles Sanders. "Concepciones lógicas diversas". *C. S. Peirce, obra filosófica reunida (1893-1913) / Charles Sanders Peirce*, editado por Nathan Houser & Christian Kloesel, traducido por Darin Mcnabb. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica, 2012e, pp. 340-363.

Peirce, Charles Sanders. "Del razonamiento en general". *C. S. Peirce, obra filosófica reunida (1893-1913) / Charles Sanders Peirce*, editado por Nathan Houser & Christian Kloesel, traducido por Darin Mcnabb. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica, 2012f, pp. 61-77.

Peirce, Charles Sanders. "El pragmatismo como lógica de la abducción". *C. S. Peirce, obra filosófica reunida (1893-1913) / Charles Sanders Peirce*, editado por Nathan Houser & Christian Kloesel, traducido por Darin Mcnabb. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica, 2012g, pp. 293-310.

Peirce, Charles Sanders. "La base del pragmaticismo en la faneroscopia". *C. S. Peirce, obra filosófica reunida (1893-1913) / Charles Sanders Peirce*, editado por Nathan Houser & Christian Kloesel, traducido por Darin Mcnabb. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica, 2012h, pp. 442.

Peirce, Charles Sanders. "La inmortalidad a la luz del sinequismo". *C. S. Peirce, obra filosófica reunida (1893-1913) / Charles Sanders Peirce*, editado por Nathan Houser & Christian Kloesel, traducido por Darin Mcnabb. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica, 2012i, pp. 49-52.

Peirce, Charles Sanders. "Las categorías defendidas". *C. S. Peirce, obra filosófica reunida (1893-1913) / Charles Sanders Peirce*, editado por Nathan Houser & Christian Kloesel, traducido por Darin Mcnabb. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica, 2012j, pp. 222-241.

Peirce, Charles Sanders. "Qué es el pragmatismo". *C. S. Peirce, obra filosófica reunida (1893-1913) / Charles Sanders Peirce*, editado por Nathan Houser & Christian Kloesel, traducido por Darin Mcnabb. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica, 2012k, pp. 411-426.

Peirce, Charles Sanders. "Resultados del pragmaticismo". *C. S. Peirce, obra filosófica reunida (1893-1913) / Charles Sanders Peirce*, editado por Nathan Houser &

Christian Kloesel, traducido por Darin Mcnabb. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica, 2012l, pp. 427-441.

Peirce, Charles Sanders. "Sobre la lógica de extraer la historia de documentos antiguos, especialmente de testimonios". *C. S. Peirce, obra filosófica reunida (1893-1913) / Charles Sanders Peirce*, editado por Nathan Houser & Christian Kloesel, traducido por Darin Mcnabb. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica, 2012m, pp. 129-171.

Peirce, Charles Sanders. "Un argumento olvidado en favor de la realidad de Dios". *C. S. Peirce, obra filosófica reunida (1893-1913) / Charles Sanders Peirce*, editado por Nathan Houser & Christian Kloesel, traducido por Darin Mcnabb. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica, 2012n, pp. 520-528.

Restrepo Jiménez, Mariluz. *Representación, relación triádica: en el pensamiento de Charles S. Peirce.* Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2010.

Solé, Joan. Kant: *el giro copernicano en la filosofía.* Buenos Aires: Bonalletra Alcompas, S.L., 2015.

Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia
Vol. 22 n.o 44 (2022): 169-211
ISSN: 0124-4620 (papel) & 2463-1159 (electrónico)

Fecha de recepción: 08/04/2021
Fecha de aprobación: 05/10/2021
Fecha de publicación: 29/06/2022
https://doi.org/10.18270/rcfc.v22i44.3486

Discusiones sobre el concepto de población humana en la investigación epidemiológica del dengue en Argentina*

Debates about the Concept of Human Population in Epidemiological research of Dengue in Argentina

Carolina Ocampo Mallou
iiia-conicet-Universidad de San Martín
Buenos Aires, Argentina.
caro.ocampo.mallou@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-1172-6910

Ailin Delvitto
Instituto Alejandro Korn-Universidad de Buenos Aires
Buenos Aires, Argentina. delvitto.ailin@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-5175-3289

Federico Di Pasquo
Instituto Alejandro Korn-Universidad de Buenos Aires
Buenos Aires, Argentina.
dipasquof@yahoo.com.ar
https://orcid.org/0000-0001-5907-2437

CC BY NC ND

* Este artículo se debe citar: Ocampo Mallou, Carolina., Delvitto, Ailin., & Di Pasquo, Federico. "Discusiones sobre el concepto de población humana en la investigación epidemiológica del dengue en Argentina". *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia* 22.44 (2022): 169-211. *https://doi.org/10.18270/rcfc.v22i44.3486*

RESUMEN

En la actualidad el control del dengue sigue fracasando, por lo tanto, parece necesario estimular nuevos enfoques sobre el problema. Creemos que un análisis desde la epistemología puede contribuir con esto. Así, basándonos en una revisión realizada por Krieger de la categoría de población en epidemiología y en el abordaje epistemológico de Samaja, nuestro objetivo es analizar y problematizar el modo en qué se considera a la población humana en ciertas publicaciones científicas sobre la epidemiología del dengue en Argentina. Nuestro análisis indica que estas publicaciones consideran a la población en sentido estadístico y que esta mirada puede generar consecuencias negativas.

Palabras clave: dengue; epistemología; epidemiología; población; salud poblacional; inequidades de salud; Argentina.

ABSTRACT

Dengue control continues to fail nowadays; therefore, it seems necessary to stimulate new approaches to the problem. We believe that an analysis from epistemology can contribute to this. Thus, our objective is to analyze and problematize how the human population is considered in certain academic publications that study the epidemiology of dengue in Argentina. We based on an article carried out by Krieger about the category of population in epidemiology and on the epistemological approach of Samaja. Our analysis indicate that the analyzed publications consider the population in a statistical sense and that this view can generate negative consequences.

Keywords: dengue; knowledge; epidemiology; population; health population; health inequities; Argentina.

1. Introducción

Desde finales del siglo xx en el campo de la epidemiología se han suscitado numerosos debates acerca de los logros de esta disciplina científica y del sentido de sus investigaciones. Así, desde la propia epidemiología y desde diversas áreas de las ciencias sociales, se han cuestionado tanto los problemas que estudia como las preocupaciones que encarnan esos estudios. En particular, se evidencia un progresivo refinamiento de las metodologías que emplea (extraídas, en gran medida, de las ciencias naturales) en detrimento de la discusión de su teoría y finalidad (Arias-Valencia 2018; Valles 2019). Como parte de estas discusiones, un debate aún abierto se genera en torno a la pregunta por el nivel de estudio de la epidemiología y por el tipo de prevención que promueve. En otras palabras, se discute sobre si esta ciencia debería ocuparse de investigaciones que evalúen, fundamentalmente, características individuales como posibles determinantes de las enfermedades o si, por el contrario, se deberían incluir atributos propios del nivel poblacional en las explicaciones (Diez Roux 2008; Krieger 2007, 2014; Pearce 1996; Rose 1985). Del mismo modo, investigadores del área de la filosofía y de la epidemiología han argumentado si es posible y deseable que el estudio de la enfermedad en los individuos y las poblaciones se realice por separado (Arah 2008; Giroux 2020; Koopman & Lynch 1999; Krieger 2012). De esta forma, los conceptos de población e individuo, al igual que las relaciones entre ellos, parecen ser preguntas de interés tanto para la epidemiología como para la filosofía (Giroux 2008, 2011; Krieger 2014).

En el incipiente campo de la filosofía de la epidemiología (Broadbent 2013; Kaplan & Valles 2019) y en la propia discusión teórica al seno de la epidemiología (Arias-Valencia 2017), la pregunta por las poblaciones parece aún estar poco explorada, al contrario de, por ejemplo, la problemática de la causalidad. Sin embargo, el concepto de población resulta relevante como objeto de estudio en esta área de la filosofía ya que las decisiones sobre qué problema estudiar en la epidemiología siempre componen una visión sobre la propia población, qué es y cómo puede ser estudiada (Arias-Valencia 2018; Krieger 2011, 2012; Samaja 2003). En tanto el análisis de los colectivos destaca a la epidemiología de la clínica y la instituye como disciplina cien-

tífica (Ayres 2005; Krieger 2007; Samaja 2003), parece importante considerar cómo se caracteriza a la población en los estudios epidemiológicos. A su vez, si tenemos en cuenta el estudio del individuo como sujeto, este se vuelve inseparable de la dimensión colectiva (Brant 2001; Chavero 2007; Krieger 2007, 2012). Así, analizar la conceptualización que se realiza de la población es, también, comprender uno de los tres componentes que caracterizan a las enfermedades: lugar, tiempo y persona (Gordis 2014). La reformulación de estas categorías clásicas de la epidemiología se ha sugerido desde finales de los años noventa como parte de las propuestas que permitirían superar la crisis de la salud pública en Latinoamérica. De esta forma, el presente trabajo también se enmarca en un intento por rehabilitar esta discusión y proponer nuevas miradas sobre conceptos explicativos de la epidemiología (Arias-Valencia 2018). Al mismo tiempo, la población en sí misma es el objeto privilegiado de la biopolítica, es decir, de los dispositivos de conducción de conductas (Foucault 2006). De esta manera, en tanto el concepto de población es central en el conocimiento epidemiológico, este saber se convierte en una de las claves de los dispositivos biopolíticos.

De manera general, se puede afirmar que el concepto de población humana en la epidemiología dominante descansa sobre una caracterización estadística. En ella las poblaciones son abordadas como conjuntos de partes componentes definidas por sus atributos, destacándose, según Krieger (2012), aquellos considerados innatos (biológicos). Por otro lado, en otras teorías epidemiológicas, como en la ecosocial (Krieger 2011), la epidemiología crítica (Breilh 2015) o las etnoepidemiologías (Almeida Filho, De Cássia Pereira 2011), se reconoce a la población humana como una unidad dinámica constituida por las relaciones biológicas y sociales entre sus partes componentes, siendo importantes en este último tipo de teorías las subjetividades de los colectivos. En consonancia, filósofos e historiadores de la medicina (Arah 2008; Giroux 2020; Mold et ál. 2019; Schramme 2017; Taylor 2018) acuerdan en que la salud poblacional es algo más que la suma de la salud de los individuos en tanto la dimensión social humana no permite separar claramente el ámbito individual del poblacional. De cualquier modo, estos autores recién mencionados también concuerdan en que la epidemiología y la salud pública, en su aspecto más tradicional, estudian a la población como un constructo artificial que remite a una suma de in-

dividuos. Resta decir que como una forma de analizar algunas de estas concepciones de población, implicadas en la epidemiología, abordaremos el problema del dengue como caso de estudio.

El dengue se identifica, en términos biomédicos, como una enfermedad que es transmitida por los mosquitos del género *Aedes sp*. Actualmente se ha presentado un aumento histórico de casos en América del Sur (OPS 2019) y en Argentina, en particular, se ha desarrollado la peor epidemia registrada hasta el momento (MSAL 2020). De esta forma, el dengue aparece como una enfermedad que no logra ser prevenida ni controlada. Como consecuencia de la complejidad que parece exhibir este problema de salud, algunos estudios antropológicos de distintos países como Brasil, Colombia, Nicaragua y Argentina analizaron las políticas públicas en dengue (Mastrangelo 2013; Nading 2014; Ocampo, Blois & Carbajo 2020; Segata 2017; Valencia-Tobón 2016) y observaron que los éxitos en las campañas contra la enfermedad se siguen asumiendo como consecuencia directa de la adquisición de hábitos higiénicos en las personas y de la participación comunitaria. Sin importar el país, todas las campañas contra el dengue se presentan con similares iniciativas, exponiendo una mirada problemática sobre qué es la comunidad y cómo movilizarla (Valencia-Tobón 2016). En un esfuerzo por repensar este fracaso en torno al control del dengue, y considerando estas críticas arrojadas desde la antropología (en particular sobre qué es una comunidad), creemos que una mirada desde la epistemología puede contribuir a generar nuevos enfoques sobre el problema. Así, en este trabajo, basándonos en el estudio realizado por Krieger (2012) sobre la categoría de población en epidemiología y en el abordaje de Samaja sobre epistemología de la salud (2014), nuestro objetivo principal es analizar y problematizar el modo en que se considera a la población humana en ciertas publicaciones científicas sobre la epidemiología del dengue en Argentina. En este sentido, nuestras hipótesis son (a) que estas publicaciones consideran a la población como conjunto de partes en sentido estadístico y (b) que esta mirada estadística sobre la población humana podría generar consecuencias negativas cuando se estudia e interviene sobre las comunidades.

Para lograr el objetivo propuesto se realizó una búsqueda bibliográfica y se seleccionaron todos los trabajos realizados en Argentina desde 1998 (momento de

reemergencia del dengue en el país) hasta el 2019 que incluyeran la presencia (empírica o simulada) de casos de dengue. En este sentido, se excluyeron los estudios que solo consideraban como preguntas de investigación diferentes alteraciones en las poblaciones de *Aedes aegypti* o características referidas a estas, o bien que estudiaran diferentes aspectos del virus. También se excluyeron las revisiones con la finalidad de evitar el discurso generado en torno a la interpretación de trabajos seleccionados en la búsqueda. De esta manera, se recuperaron los estudios que responden a las condiciones esbozadas por Ayres (2005) como necesarias para definir el campo epidemiológico: presentan un análisis colectivo de la enfermedad, utilizan una variación cuantitativa para expresarlo y persiguen un control técnico del evento estudiado. Para realizar la búsqueda se introdujeron como términos libres "Argentina" AND "dengue" en los buscadores académicos PUBMED, SCOPUS, BVS y SCIELO, y se seleccionaron todos los artículos a los que se pudo acceder. Se realizó una revisión sistemática de los trabajos recuperados por las búsquedas y se los clasificó según los diferentes abordajes de estudio sobre el dengue o la población de *Aedes aegypti* (ejemplo, modelado espacial de la enfermedad o control sobre los mosquitos). La clasificación se logró mediante la lectura de los resúmenes de cada artículo. A la selección realizada se le agregaron otros estudios que cumplían los criterios de inclusión pero que no eran recuperados a través de los buscadores académicos. Estos estudios adicionales se hallaron a través de una exploración en las referencias bibliográficas de los artículos seleccionados en las búsquedas iniciales. La lista de los 31 artículos seleccionados se detalla en la tabla 1. En estos se analizó cómo se caracterizaba a la población, estudiando las maneras explícitas en que esta era determinada y cómo era recuperada de forma implícita en las metodologías utilizadas. En la primera columna se detalla el tipo de estudio epidemiológico, siguiendo para su clasificación la tipología de diseños indicada por Almeida Filho y Rouquayrol (2011). En la segunda columna se indican los autores y el año de publicación. Finalmente, en la tercera columna aparecen los títulos de los artículos y el nombre de la revista en la que fue publicado cada uno.

Figura. 1. Lista de artículos seleccionados para el análisis sobre la categoría de población.

Tipos	**Año de publicación y autores**	**Artículos y revistas de publicación**
(A) Simulación	Barmak, Daniel H. et ál. (2014)	Modelling interventions during a dengue outbreak. *Epidemiology and Infection.*
	Otero, Marcelo y Solari, Hernán (2010)	Stochastic eco-epidemiological model of dengue disease transmission by *Aedes* aegypti mosquito. *Mathematical Biosciences.*
	Barmak, Daniel H., Dorso, Claudio O. y Otero, Marcelo J. (2016)	Modelling dengue epidemic spreading with human mobility. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications.*
	Otero, Marcelo et ál. (2011)	Modeling dengue outbreaks. *Mathematical Bioscience.*
	Barmak, Daniel H. et ál. (2011)	Dengue epidemics and human mobility. P*hysical Review*
(B) Espacio-temporal (agregado, observacional transversal excepto Bolzan et ál. 2019 y Rotela et ál. 2017[1])	Rotela, Camilo et ál. (2007)	Space-time analysis of the dengue spreading dynamics in the 2004 Tartagal outbreak, Northern Argentina. *Acta Tropica.*
	Carbajo, Aníbal E., Cardo, María V. y Vezzani, Darío (2012)	Is temperature the main cause of dengue rise in non-endemic countries? The case of Argentina. *International Journal of Health Geographics*
	Carbajo, Aníbal E. et ál. (2018a).	The largest dengue outbreak in Argentina and spatial analyses of dengue cases in relation to a control program in a district with sylvan and urban environments. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine.*
	Carbajo, Aníbal E. et ál. (2018b).	Is autumn the key for dengue epidemics in non endemic regions? The case of Argentina. *PeerJ.*
	Rotela, Camilo et ál. (2017)	Analytical report of the 2016 dengue outbreak in Córdoba city, Argentina. *Geospatial Health.*

[1] Son individuados pero buscan asociaciones espacio-temporales entre los casos.

	Gil, José F. et ál. (2016).	Spatial spread of dengue in a non-endemic tropical city in northern Argentina. *Acta Tropica.*
	Estallo, Elizabet L. et ál. (2014).	Spatio-temporal dynamics of dengue 2009 outbreak in Córdoba City, Argentina. *Acta Tropica.*
	Bolzan, Andrés et ál. (2019)	Dinámica y caracterización epidemiológica del brote de dengue en Argentina año 2016: el caso de la Provincia de Buenos Aires. *Revista Chilena de Infectología.*
	Carbajo, Aníbal E. et ál. (2004).	Variación espacio-temporal del riesgo de transmisión de dengue en la ciudad de Buenos Aires. *Medicina (Buenos Aires).*
	Carbajo, Aníbal E. et ál. (2001).	Dengue transmission risk maps of Argentina. *Tropical Medicine and International Health.*
	Porcasi, Ximena et ál. (2012).	An operative dengue risk stratification system in Argentina based on geospatial technology. *Geospatial Health.*
(C) Descriptivo (individuado, observacional transversal)	Byrne, Alana B. et ál. (2018).	Age-associated differences in clinical manifestations and laboratory parameters during a dengue virus type 4 outbreak in Argentina. *Journal of Medical Virology.*
	Seijo, Alfredo et ál. (2009).	Brote de dengue autóctono en el área metropolitana de Buenos Aires: experiencia del Hospital de Enfermedades Infecciosas F. J. Muñiz. *Medicina (Buenos Aires).*
	Aviles, Gabriela et ál. (2000).	Epidemia por virus dengue-2 en Salta, Argentina, 1998. *Medicina (Buenos Aires).*
	Seijo, Alfredo C., Cernigoi, Beatriz y Deodato, Bettina. (2001)	Dengue importado del Paraguay a Buenos Aires. Estudio clínico y epidemiológico de 38 casos. *Medicina (Buenos Aires).*
	Cazes, Claudia I. et ál. (2019)	Brote epidémico de dengue en la ciudad de Buenos Aires, 2016: características clínicas y hematológicas de la infección en una población pediátrica. *Archivos Argentinos de Pediatría.*
	Seijo, Alfredo et ál. (2000).	Imported dengue in Buenos Aries, Argentina. Emerging Infectious Diseases.

	Robert, Michael et ál. (2019)	Arbovirus emergence in the temperate city of Córdoba, Argentina, 2009-2018. *Scientific Data*.
	Obregón, Lucrecia et ál. (2016)	Caracterización de un brote de dengue en la provincia del Chaco entre enero y julio de 2016. *Revista Argentina de Salud Pública*.
	Varela, Teresa et ál. (2019)	Elaboración de criterios epidemiológicos para estratificar por departamento poblacional de dengue grave. *Revista Argentina de Salud Pública*.
	Leporace, Marina et ál. (2019).	Descripción del primer brote de dengue en la ciudad de Santo Tomé, Corrientes, 2016. *Revista Argentina de Salud Pública.*
(D) Seroprevalencia (individuado, observacional excepto Orellano et ál. 2018[2])	Avilés, Gabriela et ál. (2003)	Laboratory surveillance of dengue in Argentina, 1995-2001. Emerging Infectious Diseases.
	Alonso, José M. et ál. (1999).	Circulación de virus dengue en población de la ciudad de Posadas. Boletín del Instituto de Medicina Regional.
	Ferri, Cristian A. et ál. (2019).	Asymptomatic dengue virus cases in Misiones, Argentina: A seroprevalence study in the university population. Microbes and Infection.
	Orellano, Pablo et ál. (2018)	Estimation of expected dengue seroprevalence from passive epidemiological surveillance systems in selected areas of Argentina: A proxy to evaluate the applicability of dengue vaccination. Vaccine.
	Ramírez, Félix A. et ál. (2013).	Seroprevalencia de anticuerpos contra dengue en niños de uno a nueve años luego de una epidemia, Aguilares, Tucumán, 2009. Revista Argentina de Salud Pública.

[2] Utiliza un modelo de simulación para observar seroprevalencia

A continuación, expondremos los conceptos de población que se discutirán en el resto del trabajo, desarrollando algunas particularidades de estos conceptos con la finalidad de facilitar la comprensión de los argumentos esgrimidos en el desarrollo siguiente. En la tercera sección analizaremos las caracterizaciones halladas sobre el concepto de población en las publicaciones científicas seleccionadas. A su vez, ofreceremos una discusión acerca del concepto técnico de población como conjunto de partes, utilizando el contrapunto generado con el concepto de población humana como entidad relacional. Finalmente, se comunicarán las conclusiones y algunas perspectivas.

2. Introducción a los conceptos de población utilizados

En esta sección presentamos y comparamos las nociones de población escogidas: el concepto de población estadística y el concepto de población descrito por Samaja.

2.1. Población estadística

Del análisis que Krieger (2012) realiza de diferentes textos canónicos en el área de la epidemiología concluye que no hay un criterio unívocamente aceptado acerca de cómo definir una población. Lo que sí aparece como rasgo común es la mención de que las partes componentes de una población humana poseen atributos que las califican como miembros de ella (ser blancos o negros, tener una nacionalidad u otra, determinada edad, o una enfermedad). A su vez, indica que la mayoría de los textos definen a la población humana en términos técnicos, es decir, vinculados con el muestreo estadístico. Esto implica que la población es la totalidad de individuos con ciertas características comunes bajo estudio y los atributos de esta pueden estimarse a partir de una muestra obtenida de ella. Así, las medias y las tasas de una población que pueden derivarse de una muestra epidemiológica son el resultado operativo del

agregado de características individuales, sin analizar las relaciones sociales entre los individuos escogidos. Adicionalmente, en algunos casos esta definición queda sujeta a una localidad geográfica, identificándose a la población como los habitantes de un área. De esta forma, las poblaciones humanas son consideradas objetos estadísticos y sus características parecen ser reflejo solo de características "endógenas" de sus partes componentes. En el mismo sentido, Urquía (2006 92) indica:

> El concepto de "población" que subyace es el de un agregado de individuos (en función de alguna característica común) y no el de un grupo social constituido históricamente. Ese concepto de población pasa por alto la cuestión de si los individuos que la componen están relacionados entre sí en la vida real; lo que importa es que tengan en común la característica que se desea estudiar (por ejemplo, hipertensión arterial) para que se los considere como una población.

Según Samaja (2003), las interacciones entre los componentes de una población estadística no son consideradas en los estudios epidemiológicos, es decir, lo que le ocurre a una parte no influye a la otra. De esta forma, se presenta una ontología que reduce el todo a sus partes como mero conjunto. Creemos, contrariamente, que la población estadística supone implícitamente una población biológica que, en todo caso, no se vuelve operativa. Es decir, los epidemiólogos asumen que se presentan interacciones biológicas entre los individuos que eligen para sus estudios aunque dichas interacciones no son objeto de sus análisis: al menos reconocen que estos individuos son parte de una misma especie y, por eso mismo, pueden sufrir procesos biológicos comunes a determinada enfermedad (clínicamente definida). Más allá de esta digresión en torno a las interacciones biológicas, la población humana queda caracterizada de forma explícita como un conjunto de partes. En este sentido, se descompone al sujeto en atributos para, así, reordenar a los individuos dependiendo de alguna clasificación propuesta por el investigador. De esta forma, la población humana se convierte en un constructo instrumental formado por esos individuos clasificados. Es decir, el interés parece centrarse en comparar a los individuos (o las partes) y volverlos lo más homogéneos posibles entre sí para encontrar asociaciones

y factores de riesgo extrapolables. Esto sucede en detrimento de estudiar muestras que representen con mayor fidelidad las diferencias y relaciones sociales presentes en la población humana sobre la cual se desea intervenir (Giroux 2008; Krieger 2012). De hecho, según Armstrong, la población es creada por los intervalos de confianza de las muestras obtenidas, es decir, es un artefacto de la muestra en tanto representa el universo de datos sobre el cual se infieren resultados. Es interesante mencionar que esta particular concepción de la población nace de asumir la variabilidad y la comparabilidad (a través de rasgos comunes) entre los individuos y del ordenamiento entre ellos (Armstrong 2017). Un ejemplo de esta concepción en la epidemiología lo encontramos en Gordis (2014 162):

> Los diagramas de la figura 8-8 representan un ensayo aleatorizado en el que una población definida es identificada en el total de la población, y un subgrupo de esa población definida será la población del estudio. Por ejemplo, la población total podrían ser todos los pacientes con lupus eritematoso, la población definida podrían ser todos los pacientes con lupus eritematoso en nuestra comunidad y la población del estudio podrían ser los pacientes con la enfermedad que reciben asistencia médica en alguna de las distintas clínicas de nuestra comunidad.

En la cita podemos observar cómo en todos los casos la población queda referida al conjunto de individuos que comparten alguna característica (tener lupus, ser de una comunidad, asistir a alguna clínica) y no a las relaciones sociales que existen entre ellos. Siguiendo el mismo argumento, vemos otro ejemplo extraído de Keyes y Galea: "Nos enfocamos en definir una población de interés a través de criterios precisos de elegibilidad enfocados en el tiempo y el espacio, de características de los individuos y del logro de la finalización y el seguimiento del estudio" (2014 5, traducción de los autores). Nuevamente, las condiciones de definición de una población son derivadas de necesidades estadísticas (seguimiento de casos) y de características individuales.

2.2. Población como unidad sociorrelacional

El concepto de población estadística es problematizado por Krieger (2012) y por Samaja (2014) al considerar críticamente la presencia de procesos que generan, mantienen y transforman a los sistemas complejos dinámicos. De esta forma, y de manera esquemática, las poblaciones humanas son asumidas como totalidades organizadas (Samaja 2003, 2014) que se autorreplican mediante movimientos recurrentes. Es decir, estas totalidades no son solo agregados, sino que son emergentes formados por la reconfiguración continua de vínculos entre las partes. En principio esta definición podría atender a la población biológica que creemos que aparece supuesta en la construcción de una población estadística, como ya fue indicado en el apartado anterior. Sin embargo, como veremos, contempla otros aspectos específicos particularmente relevantes para este trabajo.

Al considerar al viviente humano, Samaja (2014) afirma que el sujeto existe en los intersticios o interfaces jerárquicas de cuatro formas principales de organización que se reproducen simultáneamente: (1) el estrato biocomunal y del organismo biológico (dimensión biológica referida a suplir los requisitos del mantenimiento de la vida orgánica); (2) sistema cultural o estrato comunitario (dimensión psicosocial surgida de la vida exogámica y referida a la conciencia y la conducta del individuo al estar en alianzas familiares con otros); (3) sistema de clases o estrato societal (dimensión política nacida de las luchas sociales clasistas y referida a la reproducción de las relaciones jurídicas, en las que el individuo aparece como sujeto de derechos); y (4) sistema de mercado o estrato civil (dimensión socioeconómica vinculada a la reproducción de los modos de producción, a las formas de trabajo y consumo).

La identidad del ser humano va a estar dada por la unidad de los distintos estratos mencionados (Chavero 2007), los cuales entran en tensión para el sujeto cuando tiene que elegir algo debido a la pertenencia simultánea a dos planos (algunos de los mencionados). Samaja (2014) indica que de esta tensión nacen distintas subjetividades: comunitaria o familiar (relativa a la vida cotidiana familiar), estatal (relativa a valores jurídicos, patrióticos, sociales) y societal (vinculada a las regulacio-

nes del mercado). De esta forma, por ejemplo, en cada persona viven varios sujetos potenciales que se ponen en juego en las elecciones a realizar. En conclusión, el sujeto es la instancia que vehiculiza las reglas constitutivas de cada estrato de organización social.

Las formas de organización social mencionadas tienen una cierta autonomía relativa y están coordinadas entre sí, componiendo a la población humana como sistema complejo. Con estas consideraciones Samaja intenta señalar que "lo social" no constituye un fenómeno homogéneo, sino que cada tipo de sociabilidad tiene su propio orden. Estos tipos de sociabilidad se vinculan entre sí mediante relaciones de producción o génesis (por ejemplo, las familias biológicas y organismos vivos que constituyen los sistemas culturales pero sin desaparecer como tales) y de reproducción, regulación o resignificación (por ejemplo, el sistema de mercado que genera condiciones de frontera a las acciones de los Estados). Es decir, los estratos se vinculan en una jerarquía en la que el nivel superior, más complejo, suprime/conserva/supera al nivel inmediatamente inferior. Como consecuencia, según Samaja (2014), el nivel superior le imputa un "deber ser" al nivel inferior en tanto se vuelve condición de reproducción y equilibrio de las partes, pudiendo convertirse en instancia de regulación de los procesos que le dieron origen. Cabe aclarar que tal regulación ocurre en tanto se presenta alguna instancia subjetiva que puede valorar una situación a partir de cierta normatividad. En este sentido, en un nivel se pueden observar situaciones concretas y relaciones de imputación sobre estas a partir de un nivel superior. De esta manera, toda conducta humana es también un hecho significante ligado a otro nivel. Es decir, por ejemplo, todo individuo humano acciona considerándose a sí mismo miembro familiar, ciudadano estatal o agente societal. El individuo se representa para sí mismo (mediante recursos semióticos) lo que determinada comunidad espera de él y se vincula con otros individuos mediante acciones comunicativas. De esta forma, la presencia de lo colectivo es vivida en el miembro individual o en la parte. Siguiendo este argumento, alguna instancia individual (o colectiva que funcione como parte) puede seguir una regla o no e incluso corregir sus transgresiones, porque esa parte tiene relación con el todo regulante. A su vez, Samaja (2014 205) indica:

> La comunidad es el fondo o dominio de validez de cualquier regla. Dicho de otra manera, no hay regla sin una totalidad que exista por medio de esa regla. Dicho de manera más categórica: […] que haya ESO que es reafirmado cuando ella se cumple y que es negado cuando ella no se cumple.

Por lo tanto, asumimos que la presencia de niveles de organización social y subjetividades implica pasar de un sistema de agregados (sujetos que coexisten con sujetos) a totalidades relacionales (comunidades) como las poblaciones humanas, en las que hay mediaciones significantes.

En conclusión, la población humana puede entenderse como un todo que no se explica por las propiedades de sus partes (por ejemplo, los individuos).[3] Es decir, emerge como unidad a partir de las relaciones de sus componentes en la reproducción social de las cuatros esferas ya mencionadas y de las subjetividades que de ellas emergen. A su vez, las características de la totalidad pueden transformar las propiedades de sus partes (incluso las biológicas) y sus relaciones. Lo que le ocurre al todo afecta a la parte y viceversa. La población humana es, así, mucho más que un agregado de seres biológicos. Como indica Arias-Valencia (2017 95), la población humana "es ante todo el espacio de las interacciones humanas, el ámbito en donde los sujetos construimos lo humano, lo social y lo político". En este sentido, analizar una "muestra" de una "población" y observar las asociaciones presentes en ella no diría nada sobre la población humana en tanto las relaciones en esta fueran desconocidas (Krieger 2012).

[3] Esta apreciación esta en relación con una conversación más amplia referida a sistemas complejos. Para su consulta, se pueden remitir a otros autores como Morin (2004) y García (2006).

3. El concepto de población en las publicaciones analizadas

3.1. Recuperación del concepto de población estadística

En esta sección analizamos las concepciones que aparecen en torno al concepto de población humana en las publicaciones académicas seleccionadas que estudian casos de dengue.

Del cuerpo de publicaciones seleccionadas inicialmente podemos identificar cuatro tipos de estudios: (A) los modelos de simulación, (B) los espacio-temporales, (C) los que usan indicadores epidemiológicos básicos para describir un brote de dengue o que analizan una serie de casos y (D) los de seroprevalencia (tabla 1). De manera general, en ninguno de los trabajos se explicita una definición de población, por lo tanto, la comprensión sobre esta llega, en gran medida, del análisis metodológico. Otras condiciones generales encontradas en los artículos refieren a las menciones explícitas que se realizan de la palabra "población", las cuales quedan asociadas a las características demográficas de densidad, tamaño y difusión. A su vez, encontramos como rasgo común el énfasis intervencionista de la mayoría de los artículos ya que explicitan la posibilidad de utilizar sus resultados para mejorar el control de las epidemias de dengue. En este sentido, en algunas ocasiones se menciona la necesidad de estrechar lazos con otras áreas científicas para mejorar los resultados y las intervenciones propuestas (Rotela et ál. 2007). Sin embargo, las áreas de las ciencias sociales no están mencionadas entre aquellas necesarias. Por otro lado, si bien encontramos ciertos matices entre los tipos de estudio mencionados, la concepción estadística de la población es fuertemente predominante. Al respecto, presentamos citas que evidencian la persistencia de este concepto:

> A partir de esta cartografía generamos otro mapa cartográfico al cual le asignamos un punto centroide para cada barrio. Las diferentes variables como número de casos de dengue, tamaño poblacional o valores socio-económicos fueron vinculadas a cada centroide y se usó este nivel de agregación en nues-

tros análisis […] para detectar ese agrupamiento, se usaron círculos de área variable centrados en cada centroide, que corresponde al centro de cada barrio. Establecimos el máximo del área del círculo como el 50% del área total. El software compara el numero esperado de casos bajo el supuesto de distribución azarosa (que es proporcional a la población en el círculo, siendo esta la población de todos los barrios dentro del círculo) con el numero observado de casos […]. (Gil et ál. 2016 26, *traducción de los autores*)

Como esta mencionado arriba, nuestro análisis de la evolución temporal de la fiebre del dengue se realiza en una ciudad esquemática en la cual la unidad básica es la manzana. En cada manzana se coloca una población humana de 100 individuos. En el presente trabajo, la población humana de cada manzana no está fijada. Con el fin de describir los patrones de movilidad de los humanos hemos adaptado el siguiente modelo esquemático: se selecciona al azar el 50% de la población de cada manzana para ser móvil y se considera que el otro 50% permanece en su manzana original durante todo el análisis. Se asume que cada individuo móvil permanece 2/3 del día en su manzana original mientras que el otro 1/3 él o ella permanecerá en una manzana asignada azarosamente de acuerdo a los patrones descriptos a continuación. (Barmak et ál. 2011 011901-4, *traducción de los autores*)

La población bajo estudio comprende profesores, empleados no docentes y estudiantes de las diferentes unidades académicas de las universidades participantes. En las siguientes tablas aparece la distribución de la población de acuerdo con la edad y el género […]. Se observa el mayor número de casos detectados en la población estudiantil (n=17) y mayormente en mujeres. (Ferri et ál. 2019 185, *traducción de los autores*)

Además, se buscó estimar la población infantil infectada con dengue, conocer los síntomas en niños con resultado positivo […] seleccionar niños de la edad requerida de la ciudad de Aguilares, que compartían condiciones medioam-

> bientales similares y estaban expuestos a contraer dengue durante 2009. (Ramírez et ál. 2013 20)

En las citas anteriores se presentan ciertas similitudes que refieren al concepto técnico de población, las cuales explicitaremos utilizando como ejemplo la primera de aquellas. Podemos ver allí que la mención a la población podría reemplazarse por "conjunto de personas" sin perder el sentido y que queda referida, así, a las personas localizadas en una región definida arbitrariamente para conveniencia del análisis (las áreas circulares hasta una cierta extensión alrededor del centro de cada barrio). A su vez, menciona que las personas (casos) son agregadas, de manera que se obtiene un número de casos por barrio, siendo estos "agregados barriales" las unidades sobre las que se miden las variables escogidas y que representan a la población total de la zona. Así, la población aparece como sinónimo de conjunto tanto de individuos como de agregado de individuos. Cabe también destacar que es el lugar de residencia, una característica individual, la que permite "sumar" a los individuos. De la misma forma, esto se observa en la segunda cita recién considerada, cuando se menciona que la "población" (y no el conjunto de individuos) en cada manzana es dividida en un fragmento móvil y otro estático, y, sin embargo, a continuación se especifica esa movilidad en términos individuales.

En tanto ya marcamos algunos rasgos comunes de los estudios analizados, nos interesa particularizar algunos matices entre los diferentes tipos de publicaciones. Por un lado, los estudios espacio-temporales, a través de diversas técnicas de mapeo espacial, permiten visualizar, en la mayoría de los análisis, los casos de dengue geolocalizados en las residencias de las personas afectadas. De esta forma, se observan las relaciones entre puntos (casos) en el tiempo y el espacio. Con esto, algunos de los objetivos perseguidos son examinar si hay o no agrupación de casos, y a qué podrían deberse esos agrupamientos, y en qué regiones y por qué podrían aparecer más casos en el futuro (Bolzan et ál. 2019; Carbajo et ál. 2001; Carbajo et ál. 2018b; Estallo et ál. 2014). En general, en estos estudios se especula (aunque no se analiza) con la movilidad humana y la movilidad de los mosquitos, suponiéndose, en el mejor de los casos, posibles razones de estos desplazamientos. Cabe mencionar que desde las pri-

meras publicaciones de este tipo en Argentina sobre la epidemiología del dengue la movilidad humana es referenciada como un aspecto esencial, sin embargo, hasta hoy, no logra ser operativizada. Adicionalmente, como ya mencionamos, el movimiento humano es estudiado como la sumatoria de los desplazamientos individuales, en clave de factores biológicos de riesgo (Carbajo et ál. 2018a; Estallo et ál. 2014). En este sentido, el interés está puesto en el movimiento físico o biológico, considerándose al humano solo en esta dimensión: como si fuera una partícula o un organismo susceptible de enfermar que se traslada. También es importante marcar que, algunas veces, se generan hipótesis ad hoc sobre las relaciones sociales que estarían constituyendo a las poblaciones humanas (y que estarían vinculadas con la movilidad) pero no se las testea. De esta forma, se supone la existencia de movimientos físicos y se intenta, en algunos casos, interpretarlos en términos de las relaciones sociales en una población. Esta es una tendencia que se mantiene en el tiempo al analizar desde las primeras publicaciones de dengue a las más recientes, lo cual implica que existe una cierta desatención al análisis específico de esas relaciones sociales que se hipotetizan. Por ejemplo, se interpreta que la gran movilidad de las personas podría estar iniciando los brotes de dengue y que esta podría estar vinculada a las relaciones laborales en la región (traslado de trabajadores migrantes a sus países de origen o a las relaciones de centro-periferia en una ciudad). Sin embargo, esas relaciones no son analizadas. Otro punto interesante de estos trabajos es que el concepto de población estadística queda ligado, en particular, a la ubicación geográfica. Es decir, la población suele aparecer como un conjunto de agregados de individuos, siendo cada agregado construido en función de la residencia de cada caso. De esta forma, la mayoría de las variables analizadas (como posibles predictores) no está referida estrictamente al individuo sino que remite a una unidad geográfica, por ejemplo, la temperatura, la densidad poblacional o el porcentaje de casas en un distrito. Aquí cabe cuestionarse en qué medida la aparición de estas variables, irreductibles al individuo, podrían estar implicando un cambio en el nivel de análisis. Según nuestro examen, lo que parece ocurrir es una confusión entre propiedades que remiten a un área (siendo restringida, mayormente, a los domicilios de residencia de los habitantes, en detrimento de otros espacios sociales) o una población biológica con propiedades inherentes y las referidas a una

población humana. En este último caso, las variables deberían remitir a determinadas condiciones sociales de los grupos humanos bajo estudio. De igual forma, en estos casos mencionados tampoco se consideran las relaciones entre los agregados de individuos (partes del todo) más que en términos estadísticos (por ejemplo, si el análisis conjunto de los agregados diluye una asociación o la incrementa).

Los modelos de simulación, otro de los tipos de estudio que mencionamos, proponen utilizar distintos parámetros estimados teóricamente (y, en algunos casos, eventos estocásticos) para observar cómo podría modificarse la cantidad de casos de dengue. Los artículos seleccionados no utilizan un número de casos o una densidad poblacional de mosquitos empírica, aunque algunas estimaciones están basadas en información obtenida de estudios biológicos. Por el contrario, estos trabajos modelan sus condiciones a través de ecuaciones diferenciales y considerando lo que se denomina el sistema SIR o SEIR. Bajo esta perspectiva, la población de mosquitos, al igual que la de humanos, es dividida en compartimentos: susceptibles, expuestos, infectados y recuperados (este último solo para los humanos que desarrollan inmunidad). De esta forma, los modelos presentan una característica que no aparece en los otros tipos de estudio y es que, explícitamente, analizan la dependencia del estado de un individuo respecto al otro (Koopman & Lynch 1999). Esta dependencia les permite asumir la temporalidad de un posible brote como consecuencia del cambio de estado (susceptible, expuesto, infectado) de los individuos. Así, la población aparece como un conjunto de agregados de individuos, siendo cada agregado definido en torno a las características inmunológicas de sus individuos (del sistema SEIR). Pese a esto, la inclusión en el análisis metodológico de la dependencia (e interacción) biológica entre los individuos permite evidenciar más claramente aquella población biológica que está supuesta en alguna medida en la construcción de la población estadística. Lo mismo ocurre con la movilidad de los sujetos. En casi todos estos artículos (excepto, Otero & Solari 2010; Otero et ál. 2011) se logra analizar la movilidad de los individuos y las posibles consecuencias de ella, y en Barmak et ál. (2014) se evalúan las respuestas a las intervenciones que se generan para controlar los brotes. Cabe aclarar, sin embargo, que este movimiento, aunque se explicite como poblacional, sigue apareciendo como la sumatoria de los desplazamientos individuales, en clave

de dispersión física. Adicionalmente, la población y las intervenciones de control de dengue son consideradas en términos homogéneos (siendo las diferencias en la condición de viremia las únicas simuladas), y se asume que la heterogeneidad no aportaría diferencias a los resultados del trabajo (Barmak et ál. 2014). De esta forma, las diferencias sociales que hacen a las poblaciones humanas no buscan ser analizadas.

En el resto de los estudios analizados, la población simplemente aparece como conjunto de individuos ya sea de una región geográfica (Robert et ál. 2019) o asistidos por un servicio sanitario (Byrne et ál. 2018; Cazes et ál. 2019; Seijo et ál. 2000; Seijo, Cernigoi & Deodato 2001; Seijo et ál. 2009). En el caso de los estudios de seroprevalencia, nuevamente, los conjuntos se generan según el estatus inmunológico de los individuos de una región geográfica particular (Alonso et ál. 1999; Obregón et ál. 2016; Orellano et ál. 2018; Ramírez et ál. 2013) o de una institución, ya sea educativa (Ferri et ál. 2019) o sanitaria (Avilés et ál. 2000; Avilés et ál. 2003).

Otro punto a considerar respecto a la forma que toma la población estadística en los artículos seleccionados es que, en general, aparece una dificultad de representación de las poblaciones humanas a las que se pretende estudiar e intervenir. Ello deriva de la falta de datos fidedignos de los casos no solo debido a la subnotificación, sino también a las diferencias de gestión provincial y municipal que puede haber en un país (Carbajo et ál. 2018b). En otros casos, si bien se presume que lo que se está estudiando es la población humana de una unidad geográfica, lo que de hecho se analiza es el conjunto de individuos que asisten a una determinada institución sanitaria (Byrne et ál. 2018; Rotela et ál. 2007). Esto tiene como consecuencia que se generen medias que son sesgadas, es decir, que solo recuperan la información de ciertos casos notificados, constituyéndose como "población" un conjunto restringido de individuos que accedieron a convertirse en datos epidemiológicos (tuvieron acceso al servicio sanitario en un distrito con notificación eficiente). Es necesario en este punto, como indica Krieger (2012), repensar de quiénes están hablando realmente estas medias y a quiénes están dejando por fuera. Desconsiderar a qué "poblaciones" se está excluyendo como consecuencia de estos sesgos implica, en buena medida, desde el diseño del estudio, no preguntarse quiénes son esos agregados de individuos, a quiénes se está estudiando realmente y cómo se expresa la enfermedad

en los grupos sociales (en particular, en su relación con los servicios sanitarios). De esta forma, una mirada exclusivamente estadística sobre la población humana puede traer consecuencias negativas en el estudio de las comunidades, ya sea por omisión de grupos sociales o por invisibilización de causas.

En este punto del trabajo podemos sugerir una primera conclusión parcial: el acercamiento a la población humana exclusivamente en términos de conjunto de agregados de individuos (distritos, área censal) o de conjunto de individuos (como la totalidad de estudiantes de una universidad), con estos aglomerados construidos a partir de características individuales, supone un concepto estadístico de población.

3.2. Comparación con el concepto de población como unidad sociorrelacional

En esta sección se discute el concepto de población estadística rastreado en las publicaciones académicas a través de la comparación con el concepto de población de Samaja.

De las publicaciones seleccionadas, lo que podemos destacar al comparar el concepto de población estadística con el que propone Samaja (2014) es el énfasis en la descripción biológica del problema del dengue, observándose una notoria ausencia de las esferas superiores de sociabilidad. De manera similar, la ausencia o restricción de "lo social" ya ha sido sugerida por estudios anteriores (Carabali et ál. 2015; Reidpath, Allotey & Pokhrel 2011). En este sentido, las publicaciones parecen aproximarse a una población que queda restringida al nivel de sociabilidad que Samaja define como biocomunal. Es decir, parecen presuponer la presencia de una población biológica. A nivel metodológico, incluso, esta identidad no aparece en tanto solo en los estudios de simulación se analizan algunas interacciones biológicas entre los individuos. Así, de manera general, la población humana es abordada en términos estadísticos como un conjunto de organismos biológicos. Como consecuencia, la mayoría de las variables utilizadas en los análisis y las conclusiones apuntan a entender a las poblaciones en sus dimensiones biológicas. De esto deriva, por

ejemplo, la repetición en los trabajos del uso de las variables "edad" y "sexo" en tanto son comprendidas como elementos demográficos pero también biológicos.

Según nuestro análisis, no habría una recuperación de la identidad comunal de la población humana en los trabajos mencionados. Esto implica que no se recupera como preocupación qué tipo de relaciones informales y prácticas cotidianas se establecen entre los vecinos de un área, cómo ocurre la socialización primaria al seno de los grupos ni tampoco aparecen preguntas referidas a la psicología de individuos y agrupamientos. Esto, en particular, parece ser problemático en el caso de los estudios espacio-temporales en tanto la definición de un área geográfica a explorar no recupera las relaciones sociales al seno de ella.

La identidad estatal tampoco aparece recuperada en la gran mayoría de los estudios ya que no hay una indagación sobre el cumplimiento o no de los derechos ciudadanos de las personas o incluso las relaciones que los servicios de salud estatales establecen con los vecinos. Solo en algunos pocos trabajos (Carbajo et ál. 2018a; Leporace et ál. 2019; Porcasi et ál. 2012) se analiza qué tipo de consecuencias generan las intervenciones que responden a una epidemia de dengue. En este último sentido, algunos trabajos sobre el tema de otros países han marcado la relevancia de comprender las trayectorias de los usuarios en los servicios de salud como parte de la determinación del dengue y de su mortalidad (Ardila Pinto et ál. 2015; Carabali & Hendrickx 2012; Carabali et ál. 2015; Figueiró et ál. 2011). Tampoco aparece como preocupación la socialización secundaria, es decir, cómo los diferentes niveles de educación pueden afectar la aparición de dengue. Nuevamente, en algunos estudios sobre dengue de otros países se sugiere que un bajo nivel de educación es determinante tanto en la aparición de la enfermedad, como en la respuesta de atención sobre ella (Carabali et ál. 2015; Moraes, De Fátima & Duarte 2013). Más recientemente, en contados trabajos de los analizados (Carbajo et ál. 2018a) aparece alguna variable vinculada con el nivel educativo. Si bien estas asociaciones podrían ser cuestionadas, ya que parecen atribuirle un gran peso a las calificaciones personales de los sujetos (y así pueden fomentar la estigmatización), creemos que es remarcable, al menos, la preocupación por la esfera estatal en la pregunta. No aparece tampoco ninguna pregunta sobre las clases sociales y sus vinculaciones. Con respecto a esto, pocos de los

trabajos analizados (Carbajo et ál. 2018a; Gil et ál. 2016; Porcasi et ál. 2012) utilizan alguna variable vinculada a este orden.

Finalmente, tampoco la identidad contractual aparece en las publicaciones seleccionadas en tanto las diferentes clases de trabajadores[4] presentes en la población y la vinculación entre ellas no son analizadas. En este sentido, cabe aclarar que algunas publicaciones explican, parcialmente, los desplazamientos humanos como consecuencia de necesidades laborales (Barmak, Dorso & Otero 2016). De esta forma, se sugiere que la situación laboral de las poblaciones resultaría un condicionante en la aparición de la enfermedad. Con todo, la falta de análisis explícitos sobre las condiciones laborales en relación con el dengue es, al menos, llamativa. En consonancia, tampoco aparece como ámbito de indagación el tipo de economías que sustentan a las poblaciones humanas. Respecto a esto, Nading (2014), por ejemplo, indica el peso que tiene una economía basada en la basura en la aparición del dengue en Nicaragua y en la respuesta hacia esta enfermedad.

Ahora bien, ante lo dicho se podría contraargumentar que las identidades que constituyen a la población humana y no aparecen en las publicaciones seleccionadas podrían recuperarse mediante variables específicas, es decir, que podrían realizarse correlaciones entre los casos de dengue y variables consideradas "sociales". Sin embargo, ello no cambiaría la circunstancia de que se sigue pensando el problema bajo una mirada estática, de agregados de individuos, apelando a una concepción estadística de la población. Por lo tanto, aunque la teoría que sustente el análisis esté implicando a la población en sus distintas identidades (ya no solo biocomunal), el estudio seguiría configurando a una población estadística. Con esto no queremos desconocer que esta inclinación en sí misma ya sería fructífera para estudiar el problema del dengue y que, de hecho, es parte de la rica tradición de la epidemiología social anglosajona (Krieger 2012). Sin embargo, queremos remarcar una característica esencial que el concepto de población enunciado por Samaja nos

[4] Cabe aclarar que evidenciar las vinculaciones laborales también es otra forma de evaluar las clases sociales (Krieger et ál. 1993).

permite evidenciar para caracterizar realmente a una población humana como unidad sociorrelacional: el conjunto de las diferentes subjetividades que se ubican en las interfaces de los niveles de organización que ya mencionamos. En este sentido, Samaja (2014) indica que la subjetividad se transforma en un rasgo esencial inherente a toda complejidad organizada, de ahí que sea constituyente de la población humana. Lo que está ausente en las publicaciones seleccionadas sigue siendo el sujeto y, por lo tanto, también sigue estando ausente la población humana como unidad sociorrelacional. En tanto el sujeto no está presente, no se reconocen la formación y el mantenimiento de las relaciones simbólicas que hacen a la población humana. Por ello, no podemos entender la tensión entre las distintas identidades ya mencionadas (comunal, estatal, contractual). Así, no sabemos de qué manera las personas y grupos configuran y responden a las reglas que constituyen esas diferentes identidades. Esto lo podemos observar no solo en la exclusividad del abordaje estadístico, sino también en la falta de preocupación por los aportes que podrían surgir de un diálogo con las ciencias sociales y, aún más, con las propias comunidades afectadas. Por ejemplo, no aparecen preguntas respecto a la percepción que tienen las personas del fenómeno de salud-enfermedad. Y aquí cabe aclarar: no basta con generar encuestas de percepción para entender esto. Coincidimos con Chavero en que la subjetividad no se puede medir. En otras palabras, queremos decir que la población humana parece configurarse como tal cuando el colectivo puede enunciarse en sus propios términos, y expresar el padecimiento y sus narraciones de la enfermedad sin estar "atados" a las categorías a priori de los investigadores. De esta forma, entendemos lo subjetivo como algo que puede ir más allá del individuo, más allá de lo consciente, y está asociado a las formas de vida de los sujetos (Chavero 2007). El abordaje estadístico de la población, entonces, trae como consecuencia negativa el "olvido" de estas características esenciales de lo humano.

Además, Samaja indica que la subjetividad es esencial para comprender la atención y el cuidado de los procesos de salud-enfermedad. En sus palabras:

> La toma de conciencia y la orientación de la atención de los problemas de salud humanos dependen en cada sujeto humano del modelo que emplea para

> diferenciar lo ordenado de lo desordenado, lo sano de lo enfermo, lo normal de lo anormal. Y este modelo lo toma de sus peculiaridades orgánicas, de su comunidad de pertenencia, de sus ideologías filosóficas forjadas en la educación escolar recibida, y del acceso que tenga a las tecnologías, es decir, a los saberes positivos e instrumentales disponibles en la sociedad civil. (2014 73)

Esto quiere decir que si hay enfermedad, hay alguien que la reconoce como tal y hay acciones para contrarrestarla. En este sentido, lo que parece propio de la población humana, considerando los procesos de salud-enfermedad en ella, es la posesión de contextos institucionales particulares para la atención de estos procesos y la relación de las personas con ellos (Samaja 2014). Como ya mencionamos previamente, este es un aspecto particularmente descuidado de las publicaciones analizadas y que el contraste con el concepto de población de Samaja nos permite evidenciar. Como ya indicamos, en dengue, la deficiente vinculación con los servicios sanitarios y la falla de atención adecuada en ellos es uno de los principales determinantes de muerte (Ardila Pinto et ál. 2015; Carabali et ál. 2015). Así, conforme nuestra segunda hipótesis, una mirada exclusivamente estadística de la población también puede conllevar un descuido respecto a la accesibilidad sanitaria, asumida de forma amplia: "el acceso también abarca las necesidades de salud, la percepción diferencial de necesidades, el deseo de la atención y el proceso de toma de decisiones como antecedentes a la búsqueda de la atención, así como la continuidad y los resultados luego del contacto inicial" (Ballesteros 2014 14). En pos de reafirmar la validez de esta hipótesis quisiéramos enfatizar que la predominancia de un enfoque biológico e individual, que creemos está articulado a este concepto de población estadística, permite que perduren sin atenderse ciertas diferencias estructurales que contribuirían con la aparición del dengue (Ocampo et ál. 2021). A su vez, estas diferencias también marcan distintos acercamientos al control de la problemática. Por ejemplo, las fumigaciones en los barrios cerrados de Buenos Aires se habilitan con frecuencia como forma preventiva, a diferencia de lo que ocurre en zonas de clase media y clase baja (Ocampo et ál. 2021). Por otro lado, la forma en que el dengue es pensado contribuye fuertemente con las acciones que se desarrollan o no tanto en términos

de atención sanitaria como de las acciones preventivas (Weinstein & Ravi 2008; Mulligan, Elliott & Schuster-Wallace 2012), por ejemplo, las diferentes nociones en torno a qué es la basura o a qué es un criadero. En el mismo sentido, considerar el acceso a la atención sanitaria en forma amplia implica detenerse inicialmente en el deseo y la posibilidad de las personas afectadas de ser atendidos en los servicios de salud, en general, de medicina hegemónica y en cómo evidencian el padecimiento los distintos grupos humanos. En este sentido, aquello simbólico que no recupera el concepto de población estadística parece ser fundamental en la configuración de la problemática y su atención. Esta perspectiva ha sido fuertemente enfatizada por la epidemiología sociocultural o la etnoepidemiología en tanto se critica la superficialidad en el tratamiento de ciertas variables independientes en la investigación en salud (Almeida Filho 2007; Menéndez 2009). En el mismo sentido, estas corrientes indican que hay características que no pueden ser resumidas a un indicador numérico y aplicadas de manera universal sin que pierdan el sentido específico que puede tener para la comunidad que va a ser atendida (Haro 2011). Por ejemplo, las categorías epidemiológicas como género, raza y estatus socioeconómico se consolidan en el uso metodológico estandarizado sin que exista una discusión acerca de su sentido para cada enfermedad y en cada contexto sociocultural, naturalizándolas y, en muchos casos, remitiéndolas a una característica individual (Shim 2002). Así, una de las grandes críticas a la epidemiología social anglosajona, la cual recupera explícitamente "causas sociales" de los problemas de salud en forma de variables, proviene de las limitaciones del enfoque del riesgo, el objeto privilegiado de la epidemiología clásica y la obturación epistemológica que este promueve. La crítica se basa en que dicho enfoque habilita la fragmentación del fenómeno que explica la enfermedad en múltiples factores de diferente jerarquía causal (Ocampo, Carbajo & Folguera 2020; Arias-Valencia 2018). En este sentido, el concepto de población estadística (incluso recuperando alguna identidad social) favorecería este tipo de acercamiento fragmentador y descontextualizante (Shim 2002). A su vez, este acercamiento atentaría contra la posibilidad de conocer, por ejemplo, cómo afectan las diferentes dimensiones del acceso a la salud, en particular la política y simbólica (Freidin, Ballesteros & Wilner 2019), en la aparición de brotes de dengue. Cabe aclarar, a su vez,

que el modo en que deberían incorporarse las dimensiones sociales a la comprensión "causal" de los procesos de salud-enfermedad es un aspecto aún en discusión en la epidemiología (Arias-Valencia 2018).

Luego de este recorrido, podemos establecer una segunda conclusión parcial: las publicaciones analizadas desatienden el concepto de población humana como unidad sociorrelacional porque no recuperan las múltiples dimensiones de sociabilidad que presentamos como humanos, ni tampoco rescatan las distintas valoraciones que las poblaciones realizan al estar constituidas por esos estratos.

4. Conclusión

Nuestro objetivo particular se dirigió a reflexionar sobre el modo en que se consideraba el concepto de población humana en un conjunto de publicaciones académicas que recuperan distintos enfoques epidemiológicos sobre el estudio del dengue en Argentina. A partir del recorrido trazado, esbozamos dos conclusiones parciales: la primera, que la población es recuperada bajo un concepto estadístico. En ella destacamos que las poblaciones humanas aparecen como sinónimo de un conjunto de agregados de individuos o conjunto de individuos y, a su vez, particularizamos ciertas diferencias relativas a cada tipo de estudio. Además, explicitamos que no se problematiza quiénes son excluidos de los agregados de individuos como consecuencia de las dificultades técnicas para acopiar datos. En cuanto a la segunda conclusión parcial, indicamos que la población humana no aparece como unidad sociorrelacional en tanto no se recupera la pluralidad de subjetividades ni tampoco las distintas dimensiones de sociabilidad (comunal, estatal, contractual). De esta manera, podemos sugerir, a partir de las fuentes analizadas, que la población humana en la epidemiología del dengue en Argentina actúa como un concepto estadístico-instrumental. Es decir, permite estudiar los conjuntos de individuos y los de agregados de individuos para posibilitar, de manera general, recomendaciones a nivel individual sobre grupos de mayor riesgo (por ejemplo, en los estudios de seroprevalencia) o sobre distintas áreas geográficas, como las zonas de mayor riesgo que suelen aparecer

en los análisis espacio-temporales.[5] Por otro lado, algunos estudios también advierten recomendaciones "temporales" como la evaluación de la temperatura del otoño pasado (Carbajo et ál. 2018b). Y, en el caso de las simulaciones, también se observan las mismas recomendaciones anteriores, pero con un fuerte énfasis en el control del movimiento humano.

En el contexto de estas conclusiones, sugerimos que el interés intervencionista de la mayoría de las publicaciones analizadas en la mejora del problema del dengue es discutible, y lo es por las participaciones explícitas de los autoras de los artículos (y sus proyectos) en la gestión de municipios, secretarias de salud o del propio ministerio de salud (Bolzan et ál. 2019; Carbajo et ál. 2018a; Porcasi et ál. 2012; Varela et ál. 2019). Ello se debe a que, como observamos en las argumentaciones realizadas, estos estudios tienen asociado un concepto de población estadística (restringida, en el mejor de los casos, al nivel biocomunal) y no de unidad sociorrelacional. Es decir, omiten sistemáticamente las dimensiones de sociabilidad (y, por lo tanto, las inequidades sociales) que permiten el surgimiento del dengue. A su vez, y de manera fundamental, omiten lo que esas poblaciones pueden decir sobre ellas mismas, lo cual condiciona, justamente, si el dengue aparece como problema, de qué forma y qué, de hecho, se establece para solucionarlo (Ocampo, Blois & Carbajo 2020). Consideramos interesante remarcar que no asumimos la participación científica en los ámbitos públicos de decisión como un aspecto intrínsecamente negativo o positivo, sino como una actividad que merece ser más profundamente discutida en sus formas. Es decir, en tanto el conocimiento científico (en particular de las ciencias naturales y, en relación, de la epidemiología clásica) suele ser elevado a un lugar de superioridad en comparación con otros saberes (Marcuse 1968) por su pretendida objetividad, consideramos que la instrumentalización de los resultados de investigaciones en los

[5] Estas recomendaciones no son lineales. Por ejemplo, en algunos estudios ecológicos se concluye la necesidad de una intervención sobre los individuos (por ejemplo, obtención de cierta información adicional en los casos) que incluye modificaciones a nivel del sistema de información o control (mejoras en la detección, tratamiento o vigilancia de casos sospechosos). Por otro lado, hay estudios individuados que proponen mejoras a escala institucional.

territorios puede suponer una demanda de obediencia hacia otros actores y, al menos en este sentido, resultar problemático (Maturana 2015). De esta forma, nos arriesgamos a que las decisiones públicas no sean simétricamente discutidas sino que sean producto de una expertocracia (Del Castillo et ál. 2021). Este punto resulta particularmente interesante para nuestra discusión en tanto la categoría de población que es recuperada por las publicaciones sobre dengue no atiende a lo que Samaja denomina subjetividades. Por otro lado, y particularmente ligado en nuestro caso de estudio a las innovaciones químicas, las asociaciones entre instituciones públicas, privadas y académicas pueden motorizar la mercantilización de la producción tecnocientífica (Folguera 2020), promoviendo las ganancias de empresas que desarrollan nuevos productos para el control del dengue y no necesariamente el bienestar de las poblaciones. Contrariamente a estos argumentos, las actividades científicas que intentan mantenerse aisladas (en sus finalidades enunciativas, al menos) de los compromisos con los problemas de las sociedades a las que corresponden podrían incurrir en convertirse en prácticas de competencia académica únicamente. De esta forma, hay un reclamo sostenido de que el trabajo académico debería orientarse a participar en la resolución de las necesidades territoriales y no dejar que sus agendas sean colmadas por los objetivos de la investigación de los centros económicos globales (Arias-Valencia 2018). Es en el marco de estas discusiones que resaltamos lo discutible de la inserción del conocimiento científico en la gestión de los problemas socioambientales.

También nos interesa remarcar la relevancia política que posee ahondar y continuar el análisis de la conceptualización de las poblaciones como objeto de estudio. El debate en torno a lo colectivo le da identidad a la epidemiología y la lleva a discutir sus posibles límites y relaciones con otras ciencias, en particular, habilitando una confrontación sobre cómo operativizar lo social (Arias-Valencia 2018). De manera más general, una epidemiología y una filosofía de la epidemiología socialmente responsables comprenden que las preguntas que realizan son políticamente relevantes (Valles 2019). En este sentido, tiene grandes implicancias ético-políticas considerar que una enfermedad en una población está anclada a los procesos inherentes a esa población o bien reducirla a ciertas características de los individuos (Digilio 2017; Gómez 2014; Samaja 2003). Reducir una población a sus componentes, es decir, suponer que los

grupos humanos se estructuran como los conjuntos de la teoría de conjuntos burguesa (Lizcano 2009) está en sintonía con las tendencias neoliberales dominantes que mercantilizan la vida y que infunden que la competencia es la forma adecuada de convivir. En otras palabras, en una lógica de mercado las sociedades necesitan ser entendidas como conjunto de entidades aisladas que compiten para sobrevivir (Folguera 2020). Al mismo tiempo, la fragmentación de las poblaciones a sus componentes permite homogeneizarlas y legitimar, así, intervenciones biomédicas sobre los individuos que desplazan la atención de la denominada determinación social de las enfermedades (Breilh 2015). En este sentido, la simplificación de las poblaciones parece alentar una individualización de las estrategias preventivas (Arias-Valencia 2018; Rockhill 2005) y viceversa: las restricciones políticas en las posibilidades preventivas son funcionales a la generación de un conocimiento simplificado (Barreto 1998). En consecuencia, las inequidades e iniquidades sociales en salud (Almeida Filho 2020) en su diversidad y complejidad no pueden ser estudiadas ni abordadas políticamente. En relación con esto, una mirada restringida sobre la población desconoce la existencia de distintos modos de vida en los territorios, los cuales configuran distintas formas de entender y atender a los procesos de salud-enfermedad.

Queremos también dejar esbozadas ciertas preguntas que intuimos pueden ser fértiles para continuar investigando en relación con el concepto de población y sus posibles implicancias biopolíticas. En tanto la población humana aparece en términos estadísticos, parece volverse una entidad mucho más homogénea de lo que es. ¿En qué medida, entonces, una población que es entendida como un conjunto socialmente homogéneo de individuos no opera legitimando intervenciones que silencian voces y territorios? En tanto el concepto de población estadística es un elemento epistemológico fundamental que obtura las diferentes formas de vivir la enfermedad, ¿puede lograr un cuidado en las poblaciones humanas? ¿En qué medida la epidemiología, con su mirada estadística de la población, no está invisibilizando las diversas enfermedades presentes en el territorio? Valencia-Tobón (2016) indica que es necesario recuperar las narrativas sobre la enfermedad en personas que tuvieron dengue como forma de rescatar saberes valiosos y para esas personas, como modo de sanar. Podemos decir que necesitamos las palabras para lidiar con el dolor, en la

forma que sea. ¿Podremos, entonces, volver a la epidemiología una ciencia sensible al sufrimiento de las comunidades que pretende estudiar? ¿O podremos relegarla a una posición más modesta en el estudio e intervención sobre ellas? Como indica Arias-Valencia (2017 98), "¿Para qué y para quién es el conocimiento epidemiológico?"; ¿qué identidad está dispuesta o no a asumir esta disciplina? Cabe, en este sentido al menos, que la epidemiología clarifique qué es lo que está diciendo cuando nombra a las poblaciones humanas y cuando las silencia.

Trabajos citados

Almeida Filho, Naomar. "Por una epidemiología con (más que) números: cómo superar la falsa oposición cuantitativo-cualitativo". *Salud Colectiv*a 3.3 (2007): 229-233. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2492746>

_____. "Desigualdades en salud: nuevas perspectivas teóricas". Salud Colectiva 16.1 (2020): e2751. <https://doi.org/10.18294/sc.2020.2751>

Almeida Filho, Naomar, de Cássia Pereira Fernandes, Rita, Larrea-Killinger, Cristina & Vasconcelos da Silva, Luis A. "Construindo a etnoepidemiologia". *Epidemiologia & saúde: fundamentos, métodos e aplicações*, editado por Naomar Almeida Filho y Mauricio L. Baretto. Río de Janeiro: GEN/Guanabara Koogan, 2011, pp. 386-393.

Alonso, José M., Gorodner, Jorge O., Fabre, Adriana R., Galván, Miria, Merino, Daniel E. & Balbachán, Silvia E. "Circulación de virus dengue en población de la ciudad de Posadas". *Boletín del Instituto de Medicina Regional* (1999): 28-31.

Arah, Onyebuchi A. "On the relationship between individual and population health". *Medicine, Health Care, and Philosophy* 12.3 (2008): 235-244. <https://doi.org/10.1007/s11019-008-9173-8>

Ardila Pinto, Fabián, Martínez, Sandra, Fuentes, Mauricio & Borrero, Elizabeth. "Análisis de las demoras en salud en personas que enfermaron de gravedad o fallecieron por dengue en cinco ciudades de Colombia". *Physis: Revista de Saúde Coletiva* 25.2 (2015): 571-592. https://dx.doi.

org/10.1590/S0103-73312015000200013<https://doi.org/10.1590/S0103-73312015000200013>

Arias-Valencia, Samuel A. "Del saber cotidiano al conocimiento científico de la enfermedad en las poblaciones. Dificultades y retos de la epidemiología como disciplina científica". *Historia y Sociedad* 32 (2017): 83-101. <https://doi.org/10.15446/hys.n32.59163>

Arias-Valencia, Samuel A. "La epidemiología como campo transdisciplinar pertinente de la salud de las poblaciones. El caso de la epidemiología en la Facultad Nacional de Salud Pública de la Universidad de Antioquia, 1970-2016". Tesis de doctorado, Universidad de Antioquia, 2018. <http://hdl.handle.net/10495/19712>

Armstrong, David. "Clinical prediction and the idea of a population". *Social Studies of Science*47.2(2017):288-299.<https://doi.org/10.1177/0306312716685926>

Avilés, Gabriela, Rageon, Griselda, Baroni, Pablo, Paz, Valeria, Monteros, Maria, Sartini, Jose Luis & Enria, Delia. "Epidemia por virus dengue-2 en Salta, Argentina, 1998". *Medicina (Buenos Aires)* 60.6 (2000): 875-879.

Avilés, Gabriela, Paz, Maria Valeria, Rangeon, Griselda, Ranaivoarisoa, Marie Y., Verzeri, Nora, Roginski, Sandra, Baroni, Pablo & Enria, Delia. "Laboratory surveillance of dengue in Argentina, 1995-2001". *Emerging Infectious Diseases* 9.6 (2003): 738-742. <www.doi.org/10.3201/eid0906.020483>

Ayres, José R. C. M. *Acerca del riesgo: para comprender la epidemiología.* Buenos Aires: Lugar Editorial, 2005.

Ballesteros, Matías. U*n análisis sobre las desigualdades en el acceso a los servicios de salud en la población adulta urbana de la Argentina a partir de datos secundarios.* Buenos Aires: Instituto de Investigaciones Gino Germani, Facultad de Ciencias Sociales, UBA, 2014. <http://biblioteca.clacso.edu.ar/Argentina/iigg-uba/20151022054933/dji41.pdf>

Barmak, Daniel Hernán, Dorso, Claudio Oscar, Otero, Marcelo Javier & Solari, Hernán Gustavo. "Dengue epidemics and human mobility". *Physical Review* 84.1 (2011): 011901. <https://www.doi.org/10.1103/PhysRevE.84.011901>

_____. "Modelling interventions during a dengue outbreak". *Epidemiology and Infection* 142.3 (2014): 545-561. <https://doi.org/10.1017/S0950268813001301>

Barmak, Daniel H., Dorso, Claudio O. & Otero, Marcelo J. "Modelling dengue epidemic spreading with human mobility". *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 447 (2016): 129-140. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2015.12.015>

Barreto, Maurício L. "Por uma epidemiologia da saúde coletiva". *Revista Brasileira de Epidemiologia* 1.2 (1998): 123-125. <https://www.doi.org/10.1590/S1415-790X1998000200003>

Bolzan, Andrés, Insua, Iván, Pamparana, Carolina, Giner, María Celeste, Medina, Ana & Zucchino, Betina. "Dinámica y caracterización epidemiológica del brote de dengue en Argentina año 2016: el caso de la Provincia de Buenos Aires". *Revista Chilena de Infectología* 36.1 (2019): 16-25. <https://www.doi.org/10.4067/S0716-10182019000100016>

Brant, Luiz C. "O individuo, o sujeito e a epidemiologia". *Ciência & Saúde Coletiva* 6.1 (2001): 221-231. <https://www.doi.org/10.1590/S1413-81232001000100018>

Breilh, Jaime. *Epidemiología crítica: ciencia emancipadora e interculturalidad.* Buenos Aires: Lugar Editorial, 2015.

Broadbent, Alex. *Philosophy of epidemiology.* Hampshire: Palgrave Macmillan, 2013.

Byrne, Alana B., Gutiérrez, Guillermo F., Bruno, Agostina, Córdoba, María Teresa, Bono, María Manuela, Polack, Fernando P., Talarico, Laura B. & Quipildor, Marcelo O. "Age-associated differences in clinical manifestations and laboratory parameters during a dengue virus type 4 outbreak in Argentina". *Journal of Medical Virology* 90.2 (2018): 197-203. <https://www.doi.org/10.1002/jmv.24952>

Carabalí, Mabel, Hernández, Libia M., Arauz, Maria J., Villar, Luis A. & Ridde, Valéry. "Why are people with dengue dying? A scoping review of determinants for dengue mortality". *BMC Infectious Diseases* 15.1 (2015): 301. <https://www.doi.org/10.1186/s12879-015-1058-x>

Carabalí, Mabel & Hendrickx, David. "Dengue and health care access: The role of social determinants of health in dengue surveillance in Colombia". *Global Health Promotion* 19.4 (2012): 45-50. <https://www.doi.org/10.1177/1757975912464250>

Carbajo, Aníbal E., Schweigmann, Nicolas, Curto, Susana I., De Garín, Alicia & Bejarán, Rubén. "Dengue transmission risk maps of Argentina". *Tropical Medicine and International Health* 6 (2001): 170-183. <https://www.doi.org/10.1046/j.1365-3156.2001.00693.x>

Carbajo, Aníbal E., Gómez, Sandra M., Curto, Susana I. & Schweigmann, Nicolas J. "Variación espacio-temporal del riesgo de transmisión de dengue en la ciudad de Buenos Aires". *Medicina (Buenos Aires)* 64 (2004): 231-234.

Carbajo, Aníbal E., Cardo, María V. & Vezzani, Darío. "Is temperature the main cause of dengue rise in non-endemic countries? The case of Argentina". *International Journal of Health Geographics* 11 (2012): 26. <https://www.doi.org/10.1186/1476-072X-11-26>

Carbajo, Aníbal E., Rubio, Alejandra, Viani, María J. & Colombo, María R. "The largest dengue outbreak in Argentina and spatial analyses of dengue cases in relation to a control program in a district with sylvan and urban environments". *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine* 11 (2018a): 227-234. <https://www.doi.org/10.4103/1995-7645.228438>

Carbajo, Aníbal E., Cardo, Maria V., Guimarey, Pilar C., Lizuain, Arturo L., Buyayisqui, Maria P., Varela, Teresa, Utges, Maria E., Giovacchini, Carlos M. & Santini, María S. "Is Autumn the key for dengue epidemics in non endemic regions? The case of Argentina". *PeerJ* 6.1 (2018b): e5196. <https://www.doi.org/10.7717/peerj.5196>

Cazes, Claudia I., Carballo, Carolina M., Prainoa, María L., Ferolla, Fausto M., Mistchenkob, Alicia, Contrinia, María M., Falloa, Aurelia & López, Eduardo L. "Brote epidémico de dengue en la ciudad de Buenos Aires, 2016: características clínicas y hematológicas de la infección en una población pediátrica". *Archivos Argentinos de Pediatría* 117.1 (2019): e63-e67. <https://www.doi.org/10.5546/aap.2019.e63>

Chavero, Mario. "Subjetividad: noción problemática para la epidemiología social latinoamericana. Una revisión crítica de su tratamiento en la producción de algunos referentes de este campo". Tesis de maestría, Universidad Nacional de Rosario, 2007.

Del Castillo, Daniela, Busan, Tomás, Klier, Gabriela, Mahler, Bettina, Rodríguez, Esteban & Di Pasquo, Federico. "Expertocracia y problemática ambiental". *Filosofía e historia de la ciencia y sociedad en Latinoamérica. Vol. 1: Medio ambiente y sociedad*, editado por Federico di Pascuo, Leandro Giri, Constanza Rendon y Judith Sutz. Buenos Aires/São Carlos: Associação de Filosofia e História da Ciência do Cone Sul (AFHIC), 2021, pp. 52- 62.

Diez Roux, Ana V. "La necesidad de un enfoque multinivel en epidemiología". *Región y Sociedad* 20.2 (2008): 77-91. <https://www.doi.org/10.22198/rys.2008.2.a528>

Digilio, Patricia. "Conocimiento y ética". *Debate Público. Reflexión de Trabajo Social* 7.13 (2017): 21-33.

Estallo, Elizabeth Lilia, Carbajo, Aníbal E., Grech, Marta G., Frías Cespedes, María, Lopez, Laura, Lanfri, Mario A., Ludueña Almeida, Francisco F. & Almiron, Walter Ricardo. "Spatio-temporal dynamics of dengue 2009 outbreak in Córdoba city, Argentina". *Acta Tropica* 136.1 (2014): 129-136. <https://www.doi.org/10.1016/j.actatropica.2014.04.024>

Ferri, Cristian A., Formichela, María M., Valdez, Jose R., Medina, Ivana M. R., Dusse, Graciela V., Malvasi, Graciela N., Zapata, Pedro D. & Malarczuk, Elba C. "Asymptomatic dengue virus cases in Misiones, Argentina: A seroprevalence study in the university population". *Microbes and Infection* 21.3-4 (2019): 184-187. <https://www.doi.org/10.1016/j.micinf.2018.12.003>

Figueiró, Ana C., Hartz, Zulmira M. A., Antunes de Brito, Carlos A., Samico, Isabella, Teixeira de Siqueira Filha, Noêmia, Cazarin, Gisele, Braga, Cynthia & Pessoa Cesse, Eduarda Â. "Óbito por dengue como evento sentinela para avaliação da qualidade da assistência: estudo de caso em dois municípios da Região Nordeste, Brasil, 2008". *Cadernos de Saude Publica* 27.12 (2011): 2373-2385. <https://www.doi.org/10.1590/s0102-311x2011001200009>

Folguera, Guillermo. *La ciencia sin freno.* Buenos Aires: CFP24 Editora, 2020.

Foucault, Michel. *Seguridad, territorio, población. Curso en el Collège de France (1977-1978).* Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica, 2006.

Freidin, Betina, Ballesteros, Matías & Wilner, Agustín. "Navegando por los servicios de salud públicos: experiencias de mujeres de sectores populares en la periferia de Buenos Aires". *Saúde e Sociedad*e 28 (2019): 73-86. <https://doi.org/10.1590/S0104-12902019170987>

García, Rolando. *Sistemas complejos*. Barcelona: Gedisa, 2006.

Gil, Jose F., Palacios, Maximiliano, Krolewiecki, Alejandro J., Cortada, Pedro, Flores, Rosana, Jaime, Cesar, Arias, Luis, Villalpando, Carlos, DÁmato, Anahí M. A., Nasser, Julio R. & Aparicio, Juan P. "Spatial spread of dengue in a non-endemic tropical city in northern Argentina". *Acta Tropica* 158.1 (2016): 24-31. <https://www.doi.org/10.1016/j.actatropica.2016.02.003>

Giroux, Élodie. "L'épidémiologie entre population et individu: quelques clarifications à partir de la notion de la pensée populationnelle". *Bulletin d'histoire et d'épistémologie des sciences de la vie* 1 (2008): 37-52. Hal Id: halshs-00791125

Giroux, Élodie. "Qu'est-ce que la «santé de la population?". *Revista Salud Bosque* 1.2 (2011): 79-86. <https://doi.org/10.18270/rsb.v1i2.97>

Giroux, Élodie. "Is personalized medicine humanist?". *Archives de Philosophie* 83.4 (2020): 59-82. <https://doi.org/10.3917/aphi.834.0059>

Gómez, Ricardo. *La dimensión valorativa de las ciencias. Hacia una filosofía política.* Bernal: Universidad Nacional de Quilmes, 2014.

Gordis, León. *Epidemiology*. Philadelphia, PA: Elsevier Saunders, 2014.

Haro, Jesús Armando. *Epidemiología sociocultural. Un diálogo en torno a su sentido, métodos y alcances.* Buenos Aires: Lugar editorial, 2011.

Kaplan, Jonathan M. & Valles, Sean A. "Reflecting on what philosophy of epidemiology is and does, as the field comes into its own: Introduction to the special issue on philosophy of epidemiology". *Synthese* 198.1 (2019): <https://www.doi.org/10.1007/s11229-019-02252-3>

Keyes, Katherine M. & Galea, Sandro. *Epidemiology matters: A new introduction to methodological foundations.* Nueva York: Oxford University Press, 2014.

Koopman, James S. & Lynch, John W. "Individual causal models and population system models in epidemiology". *American Journal of Public Health* 89.8 (1999): 1170-1174. <https://www.doi.org/10.2105/ajph.89.8.1170>

Krieger, Nancy, Rowley, Diane, Herman, Andrea, Avery, Byllye & Phillips, Mary T. "Racism, sexism, and social class: Implications for studies of health, disease, and well-being". *American Journal of Preventive Medicine* 9.6 (1993): 82-122. <https://doi.org/10.1016/S0749-3797(18)30666-4>

Krieger, Nancy. "Commentary: Ways of asking and ways of living: Reflections on the 50th anniversary of Morris' ever-useful uses of epidemiology". *International Journal of Epidemiology* 36.6 (2007): 1173-1180. <https://www.doi.org/10.1093/ije/dym228>

_____. *Epidemiology and the people's health: Theory and context.* Nueva York: Oxford University Press, 2011.

_____. "Who and what are 'populations?' – Historical debates, current controversies, and implications for understanding 'population health' and rectifying health inequities". *Milbank Quarterly* 90.4 (2012): 634-681. <https://www.doi.org/10.1111/j.1468-0009.2012.00678.x>

_____. "Got theory? On the 21st c. CE rise of explicit use of epidemiologic theories of disease distribution: A review and ecosocial analysis". *Current Epidemiology Reports* 1.1 (2014): 45-56. <https://www.doi.org/10.1007/s40471-013-0001-1>

Leporace, Marina, Lizuain, Arturo, Villarquide, María Lucrecia, Galarza, Adriana C., De Souza, Oscar, Rilo, María Cristina & Santini, María Soledad. "Descripción del primer brote de dengue en la ciudad de Santo Tomé, Corrientes, 2016". *Revista Argentina de Salud Pública* 10.41 (2019): 50-54.

Lizcano, Emmánuel. *Metáforas que nos piensan. Sobre ciencia, democracia y otras poderosas ficciones.* Buenos Aires: Biblos, 2009.

Marcuse, Herbert. *El hombre unidimensional.* Ciudad de México: Joaquín Mortiz, 1968.

Mastrangelo, Andrea. "'El agua no se le niega a nadie'. Estudio social sobre la prevención del dengue en un barrio de Clorinda, Formosa, nordeste argenti-

no". *De Prácticas y Discursos. Cuadernos de Ciencias Sociales* 2.2 (2013): 1-19. <http://dx.doi.org/10.30972/dpd.22733>

Maturana, Humberto. *La objetividad. Un argumento para obligar.* Buenos Aires: Granica, 2015.

Menéndez, Eduardo. *De sujetos, saberes y estructuras. Introducción al enfoque relacional en el estudio de la salud colectiva*. Buenos Aires: Lugar Editorial, 2009.

Ministerio de Salud de la Nación (MSAL). *Boletín Integrado de Vigilancia 497 SE 21*. Ministerio de Salud de la Nación. <https://bancos.salud.gob.ar/recurso/boletin-integrado-de-vigilancia-n497-se21-19052020>

Mold, Alex, Clark, Peder, Millward, Gareth & Payling, Daisy. *Placing the public in public health in post-war Britain, 1948–2012. Medicine and biomedical sciences in modern history.* Palgrave Pivot: Cham, 2019.

Moraes, Giselle H., De Fátima Duarte, Eliane & Duarte, Elisabeth C. "Determinants of mortality from severe dengue in Brazil: A population-based case-control study". *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 88.4 (2013): 670-676. <https://www.doi.org/10.4269/ajtmh.11-0774>

Morin, Edgar. *Introducción al pensamiento complejo.* Ciudad de México: Gedisa, 2004.

Mulligan, Kate, Elliott, Susan & Schuster-Wallace, Corinne. "Global public health policy transfer and dengue fever in Putrajaya, Malaysia: A critical discourse analysis". *Critical Public Health* 22.4 (2012): 407-418. <https://www.doi.org/10.1080/09581596.2012.659722>

Nading, Alex. *Mosquito trails. Ecology, health, and the politics of entanglement.* Berkeley, CA: University of California Press, 2014.

Obregón, Lucrecia, Buyatti, Eliana, Peralta, Karina, Sejas, Mariana, Zorzo, Liliana & Genero, Sebastián. "Caracterización de un brote de dengue en la provincia del Chaco entre enero y julio de 2016". *Revista Argentina de Salud Pública* 7.29 (2016): 38-40. <https://rasp.msal.gov.ar/index.php/rasp/article/view/160>

Ocampo, Carolina, Blois, Paula, y Carbajo, Aníbal E. "El dengue, ¿un problema para quién?". *Scripta Ethnologica* 42 (2020): 65-96.

Ocampo, Carolina, Carbajo, Aníbal E. & Folguera, Guillermo. "Concepto de riesgo: (dis)continuidades entre corrientes epidemiológicas". *Principia* 24.3 (2020): 633-656. <https://www.doi.org/10.5007/1808-1711.2020v24n3p633>

Ocampo, Carolina, Busan, Tomas, Rodríguez, Esteban, Lamberti, Matías & Di Pasquo, Federico. "El dengue en su laberinto: políticas mosquitocéntricas". *Filosofía e historia de la ciencia y sociedad en Latinoamérica. Vol. 1: Medio ambiente y sociedad*, editado por Federico di Pascuo, Leandro Giri, Constanza Rendon y Judith Sutz. Buenos Aires/São Carlos: Associação de Filosofia e História da Ciência do Cone Sul (AFHIC), 2021, pp. 52-62.

Ocampo, Carolina, Blois, Paula, Gómez, Lilen & Rendón, Constanza. "Saberes que se privilegian, seguridades que se contabilizan: Estrategias de control de dengue en un municipio de Buenos Aires (Argentina)". *Papeles de Trabajo - Centro de Estudios Interdisciplinarios en Etnolingüística y Antropología Socio-Cultural* 42 (2021): 144-161.

Orellano, Pablo, Vezzani, Darío, Quarant, Nancy, Reynoso, Julieta & Salomón, Oscar Daniel. "Estimation of expected dengue seroprevalence from passive epidemiological surveillance systems in selected areas of Argentina: A proxy to evaluate the applicability of dengue vaccination". *Vaccine* 36.7 (2018): 979-985. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2018.01.007>

Organización Panamericana de la Salud (OPS). *Actualización epidemiológica: dengue.* Organización Panamericana de la Salud, 2019. <https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_docman&view=download&category_slug=dengue-2158&alias=50965-11-de-noviembre-de-2019-dengue-actualizacion-epidemiologica-1&itemid=270&lang=es>

Otero, Marcelo, Barmak, Daniel H., Dorso, Claudio O., Solari, Hernán G. & Natiello, Mario A. "Modeling dengue outbreaks". *Mathematical Bioscience* 232.2 (2011): 87-95. <https://www.doi.org/10.1016/j.mbs.2011.04.006>

Otero, Marcelo J. y Solari, Hernán G. "Stochastic eco-epidemiological model of dengue disease transmission by *Aedes aegypti* mosquito". Mathematical Biosciences 223.1 (2010): 32-46. <https://www.doi.org/10.1016/j.mbs.2009.10.005>

Pearce, Neil. "Traditional epidemiology, modern epidemiology, and public health". *American Journal of Public Health* 86.5 (1996): 678-683. <https://doi.org/10.2105/ajph.86.5.678>

Porcasi, Ximena, Rotela, Camilo H., Introini, María V, Frutos, Nicolás, Lanfri, Sofía, Peralta, Gonzalo, De Elia, Estefanía A., Lanfri, Maroi A. & Scavuzzo, Carlos M. "An operative dengue risk stratification system in Argentina based on geospatial technology". *Geospatial Health* 6.3 (2012): S31-S42. <¡Error! Referencia de hipervínculo no válida.https://www.doi.org/10.4081/gh.2012.120>

Ramírez, Félix A., Cuezzo, Romina, Sarrouf, Elena B., Hilal, Fernando A., Alcaraz, Gabriela, Núñez Mrad, Raquel, Morales, Alejandra, Enría, Delia, Fabbri, Cintia, Caillou, Susana, Horacio, Echenique, Flores, Isolina & Calli Flores, Rogelio. "Seroprevalencia de anticuerpos contra dengue en niños de uno a nueve años luego de una epidemia, Aguilares, Tucumán, 2009". *Revista Argentina de Salud Pública* 4.14 (2013): 18-22.

Reidpath, Daniel, Allotey, Pascale & Pokhrel, Subhash. "Social sciences research in neglected tropical diseases 2: A bibliographic analysis". *Health Research Policy and Systems* 9.1 (2011): 1-12. <https://www.doi.org/10.1186/1478-4505-9-1>

Robert, Michael A., Tinunin, Daniela T., Benitez, Elisabet M., Ludueña-Almeida, Francisco F., Romero, Moory, Stewart-Ibarra, Anna M. & Estallo, Elizabet L. "Arbovirus emergence in the temperate city of Córdoba, Argentina, 2009-2018". *Scientific Data* 6.276 (2019): 276-281. <https://www.doi.org/10.1038/s41597-019-0295-z>

Rockhill, Beverly. "Theorizing about causes at the individual level while estimating effects at the population level: Implications for prevention". *Epidemiology* (*Cambridge, Mass*.) 16.1 (2005): 124-129. <https://www.doi.org/10.1097/01.ede.0000147111.46244.41>

Rose, Geoffrey. "Sick individuals and sick populations". *International Journal of Epidemiology* 14.1 (1985): 32-38. <https://www.doi.org/10.1093/ije/14.1.32>

Rotela, Camilo, Lopez, Laura, Frías Céspedes, María, Barbas, Gabriela, Lighezzolo, Andrés, Pocasi, Ximena, Lanfri, Mario A., Scavuzzo, Carlos M. & Gorla, Da-

vid E. "Analytical report of the 2016 dengue outbreak in Córdoba city, Argentina. *Geospatial Health* 12.2 (2017). https://doi.org/10.4081/gh.2017.564

Rotela, Camilo, Fouque, Florence, Lamfri, Mario, Sabatier, Phillipe, Introini, Virginia, Zaidenberg, Mario & Scavuzzo, Carlos. "Space-time analysis of the dengue spreading dynamics in the 2004 Tartagal outbreak, northern Argentina". *Acta Tropica* 103.1 (2007): 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2007.05.003>

Samaja, Juan. "Desafíos a la epidemiología (pasos para una epidemiología 'miltoniana')". *Revista Brasileira de Epidemiologia* 6.2 (2003): 105-120. <https://www.doi.org/10.1590/S1415-790X2003000200005>

_____. *Epistemología de la salud: reproducción social, subjetividad y transdisciplina.* Buenos Aires: Lugar Editorial, 2014.

Schramme, Thomas. "Health as notion in public health". *Handbook of the Philosophy of Medicine*, editado por Thomas Schramme y Steven Edwards. Netherlands: Springer, 2017, pp. 976-984.

Segata, Jean. "O aedes aegypti e o digital". *Horizontes Antropológicos* 8.23 (2017): 19-48. <https://www.doi.org/10.1590/s0104-71832017000200002>

Seijo, Alfredo, Curcio, Daniel, Avilés, Gabriela, Cernigoi, Beatriz, Deodato, Bettina & Lloveras, Susana. "Imported dengue in Buenos Aires, Argentina". *Emerging Infectious Diseases* 6 (2000): 655-656. <https://www.doi.org/10.3201/eid0606.000619>

Seijo, Alfredo, Romer, Yamila, Espinosa, Manuel, Monroig, Jessica, Giamperetti, Sergio, Ameri, Diego & Leslie, Antonelli. "Brote de dengue autóctono en el área metropolitana de Buenos Aires. experiencia del Hospital de Enfermedades Infecciosas FJ Muñiz". *Medicina (Buenos Aires)* 69 (2009): 593-600.

Seijo, Alfredo, Cernigoi, Beatriz & Deodato, Bettina. "Dengue importado del Paraguay a Buenos Aires. Estudio clínico y epidemiológico de 38 casos". *Medicina (Buenos Aires)* 61.2 (2001): 137-141.

Shim, Janet K. "Understanding the routinized inclusion of race, socioeconomic status and sex in epidemiology: The utility of concepts from technoscience studies". *Sociology of Health and Illness* 24.1 (2002): 129-150.

Taylor, Peter. "Critical epidemiological literacy: Understanding ideas better when placed in relation to alternatives". *Synthese* 198.1 (2018): 2411-2438. <https://www.doi.org/10.1007/s11229-018-01960-6>

Urquía, Marcelo. *Teorías dominantes y alternativas en epidemiología.* Buenos Aires: Ediciones de la UNLa, 2006.

Valencia-Tobón, Alejandro. "Your love hurts down to my bones: Exploring public understandings of dengue fever in Medellin, Colombia, through an anthropology-art-science investigation". Tesis de doctorado, University of Manchester, Faculty of Humanities, 2016.

Valles, Sean A. "A pluralistic and socially responsible philosophy of epidemiology field should actively engage with social determinants of health and health disparities". *Synthese* 198.1 (2019): 2589-2611. https://doi.org/10.1007/s11229-019-02161-5<https://www.doi.org/10.1007/s11229-019-02161-5>

Varela, Teresa, Giovacchini, Carlos, Angeleri, Patricia, Morales, María, Fabbri, Cintia & Luppo, Victoria. "Elaboración de criterios epidemiológicos para estratificar por departamento poblacional de dengue grave". *Revista Argentina de Salud Pública* 10.39 (2019): 38-41.

Weinstein, Philip & Ravi, Srilata. "The failure of colonial 'distancing': Changing representations of the 2005-06 chikungunya epidemic in Réunion, France". *Singapore Journal of Tropical Geography* 29.2 (2008): 221-235. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9493.2008.00330.x>

Indicaciones para los autores

La *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia* es una publicación académica dedicada a la filosofía de la ciencia y a sus campos afines (lógica, epistemología, ciencias cognitivas, filosofía de la tecnología, filosofía del lenguaje) y, en general, a los temas y problemas que ponen en diálogo a las ciencias con la filosofía. En ocasiones se editan números monográficos sobre autores o temas puntuales. La revista recibe contribuciones en forma de artículos originales y reseñas de libros en español, portugués, francés e inglés. Todas las colaboraciones serán evaluadas por un árbitro de manera anónima y el autor recibirá una respuesta en un lapso no mayor a 90 días. Se entiende que los autores autorizan a la revista la publicación de los textos aceptados en formato impreso y digital.

Todas las contribuciones han de ser enviadas en formato doc, docx, o rtf por correo electrónico a la dirección revistafilosofiaciencia@unbosque.edu.co, y han de cumplir con las siguientes condiciones:

Artículos

- El texto ha de ser original e inédito y no se ha de encontrar en proceso de evaluación para su publicación por ninguna otra revista académica.
- Se ha de enviar el artículo en un archivo, en versión anónima y cuidando que las notas a pie de página, agradecimientos o referencias internas en el texto no revelen la identidad de su autor. En un archivo aparte se ha de enviar el título del artículo, el nombre del autor, su afiliación institucional y sus datos de contacto (dirección de correspondencia, correo electrónico y teléfono).
- El artículo debe venir precedido de un resumen en su idioma original que no exceda las 100 palabras, y 5 palabras clave. Se han de incluir también las traducciones al inglés del título del artículo, el resumen y las palabras clave.

- La lista de trabajos citados ha de estar al final del artículo y ha de cumplir con el sistema MLA de la citación para el área de filosofía (http://www. mla.org/style).
- Las referencias bibliográficas han de incorporarse al texto y no en las notas al pie de página (las notas a pie de página han de restringirse así a aquellas que contengan información sustantiva), de la siguiente manera: (Autor, página). En caso de que haya más de una obra del autor en la bibliografía, se ha de agregar el año de la obra: (Autor, año, página).
- Las citas textuales de más de cinco líneas han de ubicarse en párrafo aparte con sangría de 0,5 cms. a margen derecho e izquierdo, y no han de estar entrecomilladas. Las citas de extensión menor no requieren párrafo aparte y han de venir entrecomilladas.
- La extensión máxima de los artículos es de 15.000 palabras.

Reseñas bibliográficas

- Se recibirán únicamente reseñas sobre libros publicados recientemente (cuya fecha de publicación no exceda los últimos dos años).
- Las reseñas han de cumplir con las mismas condiciones para la citación, notas al pie y referencias bibliográficas ya especificadas para los artículos.
- La extensión máxima de las reseñas es 2.500 palabras.
- Los autores de artículos y reseñas que sean publicados en la revista recibirán dos ejemplares de la misma.

Derechos de autor
información para obtener y reproducir documentos publicados

Al postular un artículo para su posible publicación, los autores conceden implícitamente su autorización a la Revista para publicarlo. La publicación del artículo en la Revista supone que los derechos de autor patrimoniales pasan a ser propiedad de la institución editora de la Revista, la Universidad El Bosque. La Revista ha definido un formato de cesión de derechos de autor que deberá firmar todo autor que presente su obra para ser considerada en el Comité Editorial. En este sentido, las solicitudes para reproducir artículos publicados en la Revista podrán enviarse por correo electrónico al editor, indicando la referencia completa del material que se desea emplear (volumen, número, año, autor, título del artículo, número de páginas). Es necesario, además, indicar el uso que se pretende dar al material (uso total o parcial, tipo de publicación, institución del editor, fecha aproximada de publicación). El contenido de los artículos es responsabilidad absoluta de sus autores y no compromete, en ningún caso, a la Revista o a la Universidad.

Instructions for authors

The *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia* is an academic journal published by the Humanities Department of the Universidad El Bosque, mainly devoted to the Philosophy of Science and their related fields (Episte¬mology, Logic, Cognitive Science, Philosophy of Technology, Philosophy of Language) and, in general, the topics and problems that generate dialogue between philosophy and science, whether pure sciences, applied, social or human. Sometimes issues are published on specific topics or authors. The journal receives submissions in the form of original articles and book reviews in Spanish, Portuguese, French and English. Submissions received will be considered by the editorial committee for publication, verifying that they fit their own areas of the journal; after receipt they will be evaluated by an anon¬ymous expert referee and the author will receive a response within a period not exceeding 90 days. It is understood that the authors authorize publication of accepted texts in print and digital.

All submissions must be sent in Word, docx or rtf format, and emailed to the address revistafilosofiaciencia@unbosque.edu.co, and they must meet the following conditions:

Articles

- The text must be original, unpublished and should not be under evaluation for publication by any other journal.
- The author must send the manuscript in a file, in anonymous version and making sure that the footnotes, acknowledgments and internal references in the text does not reveal the identity of its author. In a separate file, the author must include: the article title, author's name, institutional affiliation and contact information (mailing address, email and phone).

- The paper must be preceded by a summary in the original language that does not exceed 100 words and 5 keywords. It should also include the English translations of the article title, abstract and keywords (or the Spanish translation, if the original language of the article is English).
- The complete list of works cited must be at the end of the article and must comply with the MLA citation system for the area of philosophy (http://www.mla.org/style).
- References must be incorporated into the text and not in footnotes (the footnotes have to be restricted to those that contain substantive information), as follows: (Author page). If there is more than one work by the same author in the bibliography, in the reference must be added the year of the work: (Author year page).
- Quotations of more than five lines must be placed in a separate paragraph indented 0.5 cm to left and right margins, and don't need quotations marks. The quotations of minor extension don't require a separate paragraph.
- The maximum length of articles is 15,000 words.

Book reviews

- It will be received only reviews of recently published books (whose publication date must not to exceed two years).
- The review must meet the same conditions for the citation, footnotes and list of works cited for articles already specified.
- The maximum length of the reviews is 2,500 words.
- The authors of articles and reviews published in the journal will receive two copies of it.

Copyright - Information For Documents Issued

By postulating an article for publication, the authors implicitly granted permission to the Journal for publication. The publication of the article in the Journal supposed author property rights become the property of the institution editor of the Journal, Universidad El Bosque. The Journal has defined a format copyright assignment to be signed by all authors to submit their work for consideration in the Editorial Committee. In this regard, requests to reproduce articles published in the Journal may be sent by email to the editor, indicating the complete reference material to be used (volume, number, year, author, article title, number of pages). It is also necessary to indicate the intended use give the material (total or partial use, type of publication, institution editor, and approximate date of publication). The content of the articles is the sole responsibility of the authors and not compromise under any circumstances, to the Journal or to the University.

UNIVERSIDAD
EL BOSQUE
Departamento de humanidades
Programa de filosofía

Junio de 2022
Bogotá, Colombia

Contenido

Sobre la hipótesis de la tierra rara como solución a la paradoja de fermi: desde la humildad copernicana hasta la gratitud ante gaia y el asombro activo
Germán Bula & Oscar Javier Pérez-Lora - *Colombia*

Sobre la neutralidad epistémica del argumento del no milagro como inferencia a la mejor explicación
Juan Manuel Remesar - *Argentina*

La evolución de los conceptos de la física del siglo XIX: un análisis a partir de la tipología de shapere
Fernanda Samaniego Bañuelos & Nalliely Hernández Cornejo - *México*

La relevancia de la invariancia frente a inversión temporal para la flecha del tiempo
Olimpia Lombardi & Leonardo Vanni - *Argentina*

La lógica de la investigación científica: Charles Sanders Peirce
Álvaro Enrique Pereira Reyes - *Colombia*

Discusiones sobre el concepto de población humana en la investigación epidemiológica del dengue en Argentina
Carolina Ocampo Mallou, Ailin Delvitt & Federico Di Pasquo - *Argentina*

Indicaciones para los Autores

UNIVERSIDAD EL BOSQUE
Departamento de Humanidades
Programa de Filosofía
Maestría en Filosofía de la Ciencia

Av. Cra 9 N° 131 a -02 Edificio Fundadores
Línea gratuita 018000113033 * PBX (571) 6489000
Bogotá D.C. - Colombia