

**TRASFONDO DISCIPLINAR Y EL LENGUAJE DE LA TEORÍA  
RELACIÓN DE LA IMAGEN DE MUNDO CON LA  
ESTRATIFICACIÓN CONCEPTUAL DEL LENGUAJE  
CIENTÍFICO**

**DISCIPLINARY BACKGROUND AND THE LANGUAGE OF THEORY  
THE RELATION BETWEEN WORLDVIEW AND THE  
CONCEPTUAL STRATIFICATION OF SCIENTIFIC LANGUAGE**

**Nibaldo Lorca Améstica\***

**Resumen**

¿Qué son las teorías científicas? La concepción dual afirma que estas se constituyen en un componente lingüístico (lenguaje objeto) y en uno estructural (trasfondo disciplinar). No obstante, este esquema resulta limitado. La relación entre el trasfondo y el lenguaje de la teoría se caracteriza de modo puramente formal, por lo que no se va más allá de este aspecto. Mi objetivo es establecer una analogía entre el trasfondo disciplinar y la idea de imagen de mundo (*Weltbild*) de Wittgenstein para explicar cómo el trasfondo de la práctica científica determina su lenguaje. Utilizo el ejemplo de los estratos del lenguaje en óptica.

*Palabras clave:* Trasmfondo disciplinar, *Weltbild* (imagen de mundo), Lenguaje objeto de la teoría, Esquema conceptual.

**Abstract**

What are scientific theories? The dual conception holds that they are constituted by a linguistic aspect (object language) and a non-linguistic structural aspect (background framework). Nevertheless, this scheme is limited. The relation between the background framework and the theory language is just formally characterized; hence, this characterization does not go beyond the formal aspect. My work aims to draw an analogy between the background framework and Wittgenstein's idea of the world picture (*Weltbild*) to explain how the bac-

\* Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile. E-Mail: [nplorca@uc.cl](mailto:nplorca@uc.cl) / ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3328-3083>.

background of scientific practice influences its language. I use the example of the stratification of the optic language.

*Keywords:* Background framework, *Weltbild* (World picture), object language of the theory, Conceptual scheme.

Recepción: 10.03.2025 / Aceptación: 28.08.2025

## Introducción

Un debate tradicional en la filosofía de las ciencias se centra en la pregunta de qué son las teorías científicas. Hay una miríada de distintas caracterizaciones de las teorías científicas a lo largo de la literatura de filosofía de las ciencias.<sup>1</sup> No obstante, me concentraré en dos posturas clásicas del debate: la concepción sintáctica y la semántica.<sup>2</sup> En términos generales, la concepción sintáctica sostiene que una teoría es un conjunto axiomatizado de enunciados; en cambio, la respuesta semántica propone que una teoría es un conjunto de modelos no-lingüísticos (Savage 1990, pp. vii-viii). A pesar de sus diferencias, ambas posturas apuntan a una reconstrucción formal de las teorías (Vorms 2018, p. 172). Por lo tanto, ante los problemas que ambas posturas afrontan, se propone la concepción dual, según la cual las teorías se constituyen por un componente lingüístico y otro estructural no-lingüístico (Frigg 2022, pp. 172-173).

El componente lingüístico de las teorías es su *lenguaje objeto* (*object language*), un lenguaje de cualquier orden lógico (estilo tarskiano) que refiere al objeto de estudio de la teoría y cuya selección responde a cuestiones prácticas. Por otro lado, el componente estructural se refiere al meta-lenguaje,<sup>3</sup> que se encarga de las estructuras relevantes, de su relación con sus símbolos y de sus descripciones. Es un lenguaje de un estrato anterior (sección 2) y es complementario del lenguaje objeto al especificar las estructuras de la teoría, el lenguaje objeto y su interpretación. De este modo, el meta-lenguaje nos proporciona *el trasfondo disciplinar* (*background framework*) de la teoría.

1 French expone una amplia variedad de dichas caracterizaciones (2020, pp. xi-xii).

2 Una tercera opción tradicional, aunque no la menciono, es la concepción pragmática (Winther 2021).

3 Es el lenguaje acerca del lenguaje objeto (Frigg 2022, p. 59); por lo tanto, la relación entre el lenguaje objeto y el trasfondo disciplinar – que será el punto central de discusión en este trabajo – se inscribe en la discusión más amplia sobre el lenguaje objeto y el metalenguaje.

Ahora bien, el esquema de la concepción dual –que vincula el lenguaje objeto con las estructuras del trasfondo disciplinar– se centra en discutir el formalismo de la teoría (Frigg 2022, p. 174).<sup>4</sup> Aquello limita la descripción de la relación entre el trasfondo disciplinar y el lenguaje objeto, ya que se reduce dicho trasfondo a su función de proporcionar estructuras que satisfagan las funciones lógicas de los enunciados del lenguaje objeto. Considero que falta expandir la dimensión práctica de esta idea. El objetivo de mi trabajo es ampliar el esquema formal a las implicaciones prácticas de la relación trasfondo-lenguaje y dar cuenta de cómo, *más allá* de lo formal, el trasfondo disciplinar determina el lenguaje objeto y su esquema conceptual.

Voy a utilizar un esquema análogo a la idea de imagen de mundo (*Weltbild*) de Wittgenstein para explicar la relación entre el trasfondo disciplinar y el lenguaje científico de una teoría. La imagen de mundo y las formas de vida determinan los juegos del lenguaje; de forma análoga, el trasfondo disciplinar y la práctica científica determinan el lenguaje y el esquema conceptual que emplean las teorías científicas. El foco de esta analogía radica en su función: el modo en que la imagen de mundo determina al lenguaje permite establecer un paralelismo con el caso de la práctica científica. El lenguaje es una herramienta esencial para representar y contener nuestro conocimiento del mundo; la ciencia es una empresa epistémica productora de conocimiento, por lo que un desarrollo científico adecuado está estrechamente ligado al desarrollo adecuado de su lenguaje científico (Zarnikhi 2005, pp. 293-294). De este modo, la intrínseca relación entre lenguaje, representación y conocimiento también está presente en las ciencias, que se caracterizan por ser actividades sociales orientadas a la construcción del conocimiento. El trasfondo y la práctica dan forma al esquema conceptual que nutre al lenguaje científico de las teorías.

La sección 1 expone el esquema formal propuesto por la concepción dual para caracterizar las teorías científicas. Luego, en la sección 2, se realiza un análisis comparativo entre la idea de imagen de mundo y el trasfondo disciplinar de la teoría. A partir de esta comparación, se establecen los puntos cruciales en los que se sustenta la analogía, así como se destacan las diferencias palpables entre el lenguaje ordinario y el

4 En el capítulo 6, Frigg (2022) presenta su respuesta acerca de cómo el formalismo dual de la teoría se relaciona con su objeto de estudio y adquiere su contenido empírico. Frigg enmarca la pregunta sobre el vínculo entre la estructura y el contenido empírico de la teoría en el debate sobre la representación de los fenómenos (Frigg 2022, pp. 186-190).

científico. Este análisis permite ver tanto las cercanías como las distancias entre el lenguaje cotidiano y el de las teorías. La sección 3 presenta el ejemplo de la estratificación de los lenguajes en la óptica (geométrica, clásica y nuclear). El ejemplo ilustra la relación entre el lenguaje y el trasfondo en términos del paralelismo presentado en la sección 2. La sección 4 explica cómo el trasfondo disciplinar puede determinar el valor de verdad de los enunciados del lenguaje objeto de la teoría. Finalmente, la sección 5 profundiza en cómo el trasfondo y el contexto de la disciplina influyen en la práctica científica, incidiendo así en el uso y el significado de los conceptos del lenguaje científico.

## 1. Esquema formal de la concepción dual

*¿Qué es una teoría científica?* La concepción sintáctica sostiene que las teorías son entidades lingüísticas compuestas por un conjunto axiomatizado de proposiciones lógico-lingüísticas y por los teoremas derivados de sus axiomas (French 2020, p. 3). La teoría está constituida por el formalismo abstracto, parcialmente interpretado, y por el lenguaje en el que este se formula. El foco de la concepción sintáctica es la reconstrucción lógica de la estructura formal de las teorías científicas, por lo que las distintas iteraciones de las teorías en las ciencias se describen en términos de su caracterización formal común.

La teoría se identifica con su lenguaje formal, que se compone de elementos lógicos y no-lógicos; los segundos, a su vez, se dividen en un vocabulario teórico y en uno observacional (Portides 2017, p. 26). El lenguaje observacional de la teoría se cimenta en su vocabulario observacional, mientras que el lenguaje teórico consiste en términos teóricos y enunciados mixtos que combinan ambos tipos de vocabulario. El lenguaje observacional aporta contenido empírico al lenguaje teórico, lo que permite conectar semánticamente las teorías científicas con los fenómenos. La conexión entre el vocabulario observacional y el teórico se explica por las reglas de correspondencia: un conjunto finito de postulados teóricos que proporcionan una interpretación empírica parcial del vocabulario teórico (Portides 2017, p. 27). Así, los términos del vocabulario teórico se definen empíricamente en función del vocabulario observacional mediante las reglas de correspondencia (Figura 1). Por ejemplo (Nagel 1961, p. 95): el término teórico de *salto electrónico* –el cambio de un electrón de un nivel cuantizado de energía (órbita) a otro– tiene su correlato empírico en el término observacional de *líneas espectrales*, causadas por el salto electrónico y observables experimentalmente.

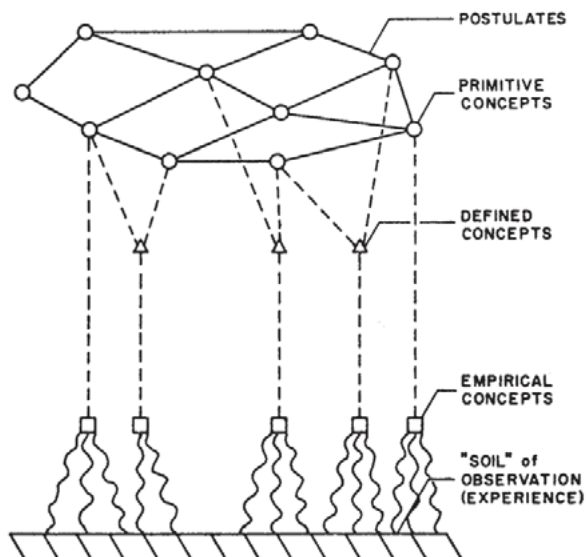


Figura 1: relación entre los distintos niveles lingüísticos de la teoría (Feigl 1970, p. 6).

Cabe señalar que los axiomas de la teoría constituyen un sistema puramente sintáctico de símbolos que, de no ser interpretados y relacionados con el lenguaje observacional, no tienen significado empírico. Por ejemplo, la segunda ley de Newton (Frigg 2022, p. 19): el axioma teórico no tiene significado empírico si no es interpretado de acuerdo con lo establecido por el paradigma de la mecánica clásica.  $F$  se interpreta como *fuerza*,  $m$  como *masa* y  $a$  como *aceleración*; bajo esta interpretación, el formalismo sintáctico adquiere significado. Por ello, resulta medular la relación entre los distintos lenguajes para caracterizar la entidad lingüística que es la teoría científica.

Sin embargo, hay ciertos problemas con la concepción sintáctica, por ejemplo, el problema de la equivalencia e individuación de las teorías (Frigg 2022, pp. 161-162): si las teorías se definen en términos de su formulación lingüística (su conjunto de enunciados), entonces cualquier cambio en dicha formulación conllevaría una nueva teoría. Un cambio en el lenguaje implica un cambio en la teoría (Suppe 1974, pp.204-205). Por ejemplo, la teoría newtoniana en inglés sería una teoría distinta de su versión en español, ya que el conjunto de enunciados que la componen difiere en cada caso. Asimismo, si a la teoría científica publicada por Newton en 1687 le agregara nuevos enunciados, entonc-

es se tendría una teoría nueva, pues el conjunto de enunciados de la primera edición (1687) es distinto al de las ediciones posteriores. Por consiguiente, las teorías científicas no son reducibles a los enunciados que las componen.

Ante este debate, la literatura propone la concepción semántica como alternativa. El giro de esta aproximación es el siguiente: otorgar un rol central a los modelos de la teoría y no a la formulación formal de su sistema axiomático, identificando así las teorías con su familia de modelos (French 2020, pp. 33-34). Por consiguiente, las teorías se caracterizan como entidades extralingüísticas (colecciones de modelos que las constituyen) y se describen mediante distintas formulaciones lingüísticas (Suppe 1974, p. 221). La concepción semántica critica la reconstrucción lógico-lingüística de la concepción sintáctica, pues distorsiona y caracteriza de manera inadecuada la estructuración de las teorías en la práctica científica (Suppe 1974, pp. 221-222). De este modo, una ventaja de la propuesta semántica es que ofrece una mayor independencia respecto del lenguaje, por lo que se evitan problemas como la equivalencia e individualización de las teorías. Un cambio en el lenguaje de la teoría no implica una nueva teoría, ya que no altera su familia de modelos.

Sin embargo, la concepción semántica presenta otros problemas relativos a la identidad de las teorías, lo que impide identificarlas correctamente, pues distingue teorías idénticas e iguala teorías distintas (Halvorson 2012, p. 184). Un ejemplo de ello es el de dos teorías coextensivas; es decir, teorías que comparten la misma familia de modelos (Frigg 2022, p. 164). *¿Dos teorías coextensivas son la misma teoría?* No necesariamente. El problema del discernimiento de la identidad entre teorías coextensivas es pernicioso para la concepción semántica, ya que no permite distinguir las teorías isomórficas. Asimismo, una teoría puede tener distintas axiomatizaciones que conduzcan a distintos modelos, por lo que serían teorías distintas a pesar de ser la misma, pero axiomatizadas de modos diferentes (French 2020, pp. 39-40). Siguiendo la crítica de Halvorson (2012, p. 203), las teorías pueden caracterizarse como conjuntos de modelos, pero no pueden reducirse únicamente a estos.

Una posible respuesta al problema previo es afirmar que la teoría no es su conjunto de modelos ni se reduce a este, sino que solo se identifica con su conjunto, tal como una persona en Chile se identifica con su cédula de identidad. No obstante, la crítica de Halvorson se mantiene, pues la teoría es *más* que sus modelos. Si el elemento adicional que identifica a una teoría es su componente lingüístico, entonces dicho componente sí es relevante para su caracterización. Ante esto, Frigg (2022, p.

172) propone una concepción dual: la teoría se constituye en un componente lingüístico y otro no-lingüístico, y ambos aspectos son relevantes para caracterizar las teorías científicas.

El componente lingüístico de las teorías consiste en su lenguaje objeto: el lenguaje que se refiere al objeto de estudio, por ejemplo, a los fenómenos físicos en el caso de las teorías de la física (Frigg 2022, p. 59). Este lenguaje pertenece a cualquier orden lógico y las estructuras (modelos) que satisfagan las condiciones de verdad tarskiana de sus enunciados constituyen su contenido. Por otro lado, el componente no lingüístico es el trasfondo disciplinar de la teoría, cuya función formal es *proporcionar* las estructuras que satisfagan las funciones lógicas de los enunciados de la teoría, así como también especificar el lenguaje objeto y su interpretación. A partir del trasfondo disciplinar, se establece el esquema conceptual que emplea el lenguaje objeto. Dicho esquema son los conceptos (y las relaciones entre ellos) que utiliza el trasfondo disciplinar para cumplir su función como meta-lenguaje del lenguaje objeto de la teoría.<sup>5</sup>

El esquema formal de la relación entre el lenguaje y su trasfondo es el siguiente: A partir del trasfondo, se derivan las estructuras modelo-teoréticas que satisfacen los enunciados del lenguaje objeto, los cuales pueden formalizarse como funciones lógicas de algún orden determinado. Las estructuras del trasfondo disciplinar se definen en términos de teoría de conjuntos: una estructura  $S$  se compone de un conjunto no vacío  $U$ , un conjunto ordenado  $R$  de relaciones entre los elementos de  $U$  y un conjunto  $O$  para sus operaciones; por lo que la estructura conjunto-teorética se define como:  $S = \{U, R, O\}$  (Frigg 2022, pp. 56-57). Esta definición puede ampliarse a estructuras modelo-teoréticas que incluyen la estructura conjunto-teorética  $S$ , junto con un conjunto de signos  $\Sigma$  y una interpretación  $I$  de estos. Así, el trasfondo establece el universo de conceptos de interés y sus relaciones, lo que proporciona el contenido de los enunciados de la teoría. De este modo, la concepción dual tiene los beneficios de emplear el esquema formal de la concepción semántica, así como también permite apelar a los aspectos lingüísticos de la concepción sintáctica para caracterizar las teorías científicas.

El esquema recién expuesto enfatiza la relación formal entre el trasfondo disciplinar y el lenguaje objeto. El problema es que no se

5 Por ejemplo, la sección 3 presenta el caso de la óptica donde el concepto de *vector* es parte esencial del trasfondo disciplinar utilizado para generar el lenguaje objeto sobre los fenómenos ópticos clásicos y nucleares.

aborda el aspecto práctico de esta relación. Por ello, el foco de este trabajo es emplear la idea de imagen de mundo para establecer un paralelismo que ayude a caracterizar esta relación *más allá* de su base formal. Se establece, como resultado, una descripción estratificada del lenguaje científico que explica cómo el trasfondo determina el lenguaje objeto.<sup>6</sup>

## 2. Análisis comparativo entre *imagen de mundo* y *trasfondo disciplinar*

Para caracterizar, en términos prácticos, el trasfondo disciplinar de la teoría, utilizo las ideas del análisis de tipo *Weltanschauung*,<sup>7</sup> que abarca distintas concepciones de la filosofía de las ciencias y se centra en el papel de las creencias en la investigación científica (Suppe 1974, pp. 125-220).<sup>8</sup> La ciencia es una actividad histórico-social cuyo propósito es la obtención de conocimiento; ésta se compone de un lenguaje, una metodología y una comprensión del mundo común entre los agentes de la comunidad científica. Dichos elementos son compartidos entre los agentes, lo que permite transmitir el conocimiento científico. Un ejemplo de la cooperación histórico-social se aprecia en el desarrollo de la topología moderna en matemáticas (Ortiz 2020, pp. 12-14): la topología algebraica se fundamenta en el *Analysis Situs* de Poincaré (1895), pero tuvo sus inicios con los trabajos de Euler en el siglo XVIII. La obra de Poincaré implica un progreso respecto de lo iniciado por Euler; no obstante, también fue influida por los trabajos de Riemann y Betti (entre otros) y por la retroalimentación de sus contemporáneos, como Heegaard. Poincaré no creó la topología algebraica moderna *ex nihilo*, sino que fue el resultado de una tradición histórica continua de la disciplina, en la que colaboraron distintos autores. Ejemplos como estos abundan en la historia de las ciencias.

Es importante comprender que la práctica científica se encuentra dentro de un determinado contexto histórico-social, que establece el esquema conceptual que sistematiza y ordena nuestras experiencias y creencias comunes sobre el mundo (Suppe 1974, p. 126). Este es el tras-

6 A modo de aclaración, el *lenguaje de la teoría* se refiere al lenguaje objeto particular de una teoría o estrato (sección 3); en cambio, el *lenguaje científico* se refiere, en general, a los distintos lenguajes científicos (con sus respectivos estratos), en contraposición con el lenguaje cotidiano.

7 Véase Suppe (1974), capítulo 5, parte B.

8 Suppe (1974) hace referencia a Kuhn (1970), Toulmin (1953, 1961), y Hanson (1958), entre otros.

fondo disciplinar de la teoría y funciona como cimiento de la práctica científica. Utilizo, a modo de analogía, la idea de imagen de mundo para explicar cómo el trasfondo determina al lenguaje objeto.

No obstante, debo advertir que la idea de *Weltbild* (Imagen de mundo) es distinta de la noción de *Weltanschauung* (Visión de mundo).<sup>9</sup> Por ejemplo, una diferencia relevante es que la imagen de mundo se constituye por proposiciones tipo Moore (Coliva 2010, p. 179),<sup>10</sup> las cuales sirven de base para nuestras formas de vida y para los juegos del lenguaje. En cambio, no todos los elementos que componen la noción de *Weltanschauung* son proposiciones de este tipo. El trasfondo disciplinar del lenguaje científico incluye elementos conceptualmente más complejos que las proposiciones tipo Moore. Este es un factor que influye en la separación entre el lenguaje cotidiano y el científico. Sin embargo, y salvando las distancias, la analogía sigue resultando útil dadas las similitudes en la estratificación de ambos lenguajes.

El aspecto sustancial de la analogía radica en la función de la imagen de mundo y el modo en que ésta determina el lenguaje cotidiano, para así aplicar este esquema al lenguaje científico. Ahora bien, primero se debe explicar el rol que cumple la idea de imagen de mundo como fundamento sin fundamento de nuestras creencias, lo cual ocurre gracias a las proposiciones bisagras que constituyen la imagen de mundo en cuestión (Coliva 2010, pp. 180-181; y SC §166; §559). Este tipo de proposiciones constituye la base de nuestro sistema de creencias, que articula las presuposiciones de los juegos del lenguaje (Hamilton 2014, p. 86). Un ejemplo que expone Hamilton es el juego del ajedrez (2014, p. 96): las reglas del ajedrez establecen cómo se puede mover cada pieza, lo que da la condición de posibilidad para jugarlo. Si un agente cualquiera cuestionase el movimiento de las piezas, no podría jugar al ajedrez, pues para jugar al juego se aceptan como base sus reglas. De ahí la metáfora de la bisagra (SC §341-343): estas proposiciones son necesarias para jugar los juegos del lenguaje, así como lo son las bisagras para abrir y cerrar una puerta. Estas proposiciones bisagras son los fundamentos para *hablar* sobre los fenómenos. Sin embargo, cabe remarcar que estos presupuestos no son verdades indubitables; pueden ser cuestionados en otros

9 Véase Hamilton (2014), sección 7.2, para un desarrollo más extenso de esta distinción.

10 Las proposiciones tipo Moore son aquellas cuya oposición resulta difícilmente imaginable para un hablante competente, ya que, en general, nuestra memoria habla a favor de ellas (Coliva 2010, p. 179).

contextos, pero, en ese caso, estaríamos ante otra imagen de mundo y jugaríamos otro juego.

Las bisagras de la imagen de mundo establecen una estratificación del lenguaje cotidiano, dado el modo en que determinan los juegos del lenguaje. Asimismo, el trasfondo disciplinar funciona como bisagras que determinan el esquema conceptual empleado en el lenguaje objeto de la teoría. Por ello, el lenguaje científico está estratificado de modo análogo a la estratificación del lenguaje cotidiano.

El lenguaje científico tiene un carácter sistemático, ya que la interrelación de los enunciados de la teoría constituye un sistema conceptualmente jerárquico y estratificado (Toulmin 1953, p. 76). La sistematización sintáctica de la entidad lingüística se mantiene en la concepción dual, pues la teoría sigue formalizada en un lenguaje, aunque ahora su contenido se lo entregan las estructuras de trasfondo que satisfacen su lenguaje.<sup>11</sup> En esta relación, la estratificación del lenguaje científico es un factor clave para explicar cómo el esquema conceptual da la condición de posibilidad del lenguaje objeto y cómo el trasfondo y la práctica científica influyen en dicho esquema. La estratificación del lenguaje implica que los enunciados de un estrato posterior requieren los de un estrato anterior para que se pueda *hablar de ellos* (Toulmin 1953, p. 80). Así, los estratos anteriores son el trasfondo disciplinar, cuyos conceptos funcionan como bisagras para los juegos del lenguaje de los estratos posteriores. Esta relación se ejemplificará en la sección 3.

Si bien cada estrato del lenguaje depende de un estrato anterior, los conceptos anteriores no son incuestionables, sino que, más bien, se sostienen por razones prácticas (Toulmin 1953, p. 81). Estos presupuestos de trasfondo pueden ser puestos en duda, pero ello afectaría al lenguaje objeto de los estratos posteriores. Por consiguiente, es necesario –para el desarrollo de la práctica investigativa y el uso del lenguaje objeto de la teoría– que se presuponga el esquema conceptual del trasfondo disciplinar.

Finalmente, hay ciertas delimitaciones necesarias para, de este modo, pulir y precisar más el paralelismo entre el rol del trasfondo disciplinar y la idea de imagen de mundo. Primero, la imagen de mundo no está justificada: es la base que establece los criterios que determinan la justificación, la racionalidad y la verdad (Coliva 2010, pp. 183-184), ya que permite distinguir lo verdadero de lo falso (SC §94). En este sentido,

<sup>11</sup> Un caso similar se aprecia en la concepción semántica; Suppes (1957, pp. 291-305) utiliza el ejemplo de la axiomatización de la mecánica clásica, cuyos axiomas son satisfechos por el modelo de la mecánica newtoniana.

la imagen de mundo cumple una función más normativa que representacional. Esta característica no es cabalmente aplicable al caso del trasfondo disciplinar en ciencias, pero puede aplicarse de forma restringida. El trasfondo disciplinar entrega las estructuras que satisfacen los enunciados del lenguaje objeto de la teoría y la determinación de la verdad –función normativa del trasfondo– se limita al valor de verdad de dichos enunciados (Sección 4). Asimismo, es importante contraponer el uso del lenguaje en ambos casos: la imagen de mundo determina formas de vida que, a su vez, determinan la práctica de los juegos del lenguaje (Hamilton 2014, p.29). En el caso del lenguaje científico, el trasfondo disciplinar, que responde a contextos históricos particulares, también determina el modo en que se usa el lenguaje objeto (Sección 5), pero no de la misma forma que ocurre con el lenguaje cotidiano y las formas de vida. Todas estas comparaciones se revisarán en las secciones siguientes; no obstante, primero se debe presentar un ejemplo que ilustre la relación entre los estratos del lenguaje científico.

### 3. Conceptos de óptica geométrica para óptica clásica y de óptica clásica para óptica nuclear<sup>12</sup>

Para trazar un paralelismo entre la idea de imagen de mundo y el lenguaje objeto empleado en la práctica científica, considero que corresponde ahondar en el siguiente ejemplo sobre los diferentes estratos del lenguaje de la óptica. Particularmente, se presentan los siguientes estratos del lenguaje óptico: la óptica geométrica, sobre los principios matemáticos de la óptica; la óptica clásica, sobre los fenómenos físicos clásicos; y la óptica nuclear, sobre los fenómenos ópticos que afectan al núcleo atómico. La óptica, en términos generales, es la rama de las ciencias que estudia el comportamiento de la luz, sus propiedades y la forma en que interactúa con distintos objetos y medios. Los conceptos de los estratos ópticos ilustran la relación entre el trasfondo disciplinar y el lenguaje objeto.

El primer caso retrata la relación estratificada entre los principios de la óptica geométrica y los fenómenos de la óptica clásica, mediante

<sup>12</sup> Estos casos se abordan de manera simple, sin profundizar en cuestiones físicas y matemáticas. El objetivo se limita a emplear los ejemplos de la óptica para describir la relación entre distintos estratos del lenguaje científico (trasfondo disciplina y lenguaje objeto). Por ello, evito, en la medida de lo posible, el uso de tecnicismos matemáticos. Para un estudio acabado de óptica, véase Dereniak & Dereniak, 2008; y para un desarrollo completo del modelo óptico del núcleo, véase Hodgson, 1994.

el ejemplo de la ley de Snell y la refracción. El segundo caso utiliza la óptica clásica como trasfondo disciplinar para hablar de los fenómenos ópticos del núcleo mediante el modelo óptico. Este cambio de estratos –de lenguaje objeto en un contexto a trasfondo disciplinar en otro, como ocurre con la óptica clásica– se debe a que los enunciados de cada lenguaje fluyen y varían según sus contextos. Véase el siguiente ejemplo de Wittgenstein (SC §23): “tengo dos manos”. Esta es una proposición bisagra de nuestro lenguaje cotidiano, pero en el contexto de un accidente grave en el que casi pierdo las manos, la afirmación “tengo dos manos” no es una proposición bisagra, sino un enunciado empírico. La fluidez de los estratos del lenguaje también es apreciable en el lenguaje científico, pues el trasfondo que sostiene el lenguaje objeto de una teoría varía de caso a caso, como en la óptica.

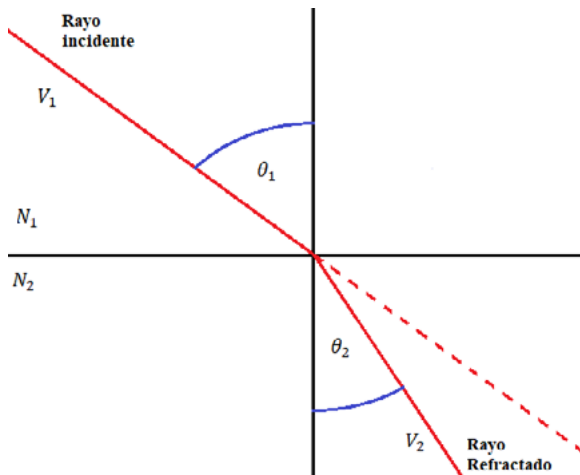


Figura 2: Refracción de un rayo de luz al cambiar de medio

La óptica geométrica emplea los principios de la geometría para describir los fenómenos ópticos al representar las ondas electromagnéticas –luz– como un vector matemático que apunta en una dirección, caracterizando así la luz como una línea recta (Dereniak & Dereniak 2008, p. 8). En este contexto, la ley de Snell expresa una relación matemática que describe cómo cambia la dirección de la luz al pasar de un medio a otro. Es decir, la ley de Snell *rige* el fenómeno de la refracción, que es la curvatura de la luz cuando esta pasa de un medio a otro con distinto índice de refracción  $N_n$ . Véase la figura 2, el rayo de luz incidente viaja

en un medio (1), que tiene un índice de refracción  $N_1$ , a velocidad  $V_1$  con una dirección expresada en el ángulo  $\theta_1$  con respecto al eje perpendicular. Este rayo incidente, al cambiar de medio a uno con un índice de refracción  $N_2$ , pasa a ser un rayo refractado con velocidad  $V_2$  y con una dirección de ángulo  $\theta_2$ . La ley de Snell establece la razón matemática del cambio de dirección del rayo de luz en ambos medios, mediante la fórmula:  $N_1 \cdot \text{Sen}\theta_1 = N_2 \cdot \text{Sen}\theta_2$ . Esta ecuación dicta que, en los fenómenos de refracción, si  $N_1 < N_2$ , entonces necesariamente  $\theta_1 > \theta_2$ , dada la razón que establece la ley.

La ley de Snell, en tanto es un principio de la óptica geométrica, determina mi imagen de mundo respecto de los fenómenos de la óptica clásica al indicarme cómo se deben comportar. Por lo tanto, necesito presuponer este principio para *hablar* de la refracción clásica. En este contexto, los principios de la óptica geométrica (como la ley de Snell) dan la condición de posibilidad para hablar de la refracción. Asimismo, la ley de Snell presupone los principios matemáticos de la geometría y la trigonometría que fundamentan su ecuación, así como otros axiomas ópticos, como el principio de Fermat (Dereniak & Dereniak 2008, p. 31). De este modo, cada estrato del lenguaje científico depende de estratos más fundamentales.

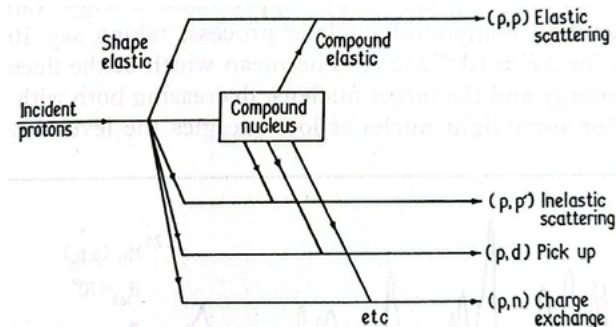
La caracterización geométrica de los fenómenos ópticos no es del todo exacta, pues la luz no es un vector matemático que se comporte de la misma manera en todos los contextos, tal como lo exige la óptica geométrica (Dereniak & Dereniak 2008, p. 8). Sin embargo, la óptica geométrica es útil como trasfondo disciplinar para *hablar* sobre óptica clásica.

Por ello, puedo cuestionar la validez de la ley de Snell en escenarios donde no se cumplan sus condiciones *ceteris paribus*, pero entonces ya no podríamos hablar *desde* la óptica geométrica sobre la refracción clásica. Al igual que en el caso de las imágenes de mundo, algunas proposiciones bisagras pueden ser proposiciones empíricas en otros contextos (SC §96).<sup>13</sup> Asimismo, al cuestionar la ley de Snell, dejo de considerarla una bisagra en mi lenguaje objeto sobre la refracción y la cuestiono como un enunciado empírico, lo que implica que me encuentro en una imagen de mundo distinta. No obstante, en la nueva imagen de mundo en la que cuestiono la ley de Snell, sigo manteniendo otras bisagras (axiomas de trigonometría o el principio de Fermat, por ejemplo) que me permiten hablar sobre la óptica geométrica.

13 Véase el ejemplo de Wittgenstein (SC §23) al inicio de la sección.

Si bien la óptica clásica es el lenguaje objeto en un estrato del lenguaje científico, ésta misma constituye el trasfondo disciplinar en el estrato óptico nuclear. Se requiere el esquema conceptual de la óptica clásica para *hablar* de fenómenos ópticos nucleares mediante el modelo óptico del núcleo.

En términos generales, el modelo óptico nuclear describe –mediante la analogía con la óptica clásica– la dispersión elástica de energía del núcleo en sus interacciones con otras partículas incidentes (Hodgson 1994, p. 3). En física nuclear, hay una serie de procesos resultantes de la interacción nuclear entre las partículas incidentes (proyectiles) y el núcleo al que impactan. La figura 3 presenta un abanico de reacciones posibles, que incluyen dispersiones elásticas e inelásticas, captura y absorción del proyectil (núcleo compuesto), reacciones de carga (ionización), excitación del núcleo, transferencia de nucleones, etc. (Hodgson 1994, p. III). Las interacciones entre proyectil y núcleo son relevantes, pues el bombardeo de partículas es un método estándar de experimentación en física (de la Peña 2019, p. 723);<sup>14</sup> por consiguiente, la dispersión nuclear es un fenómeno de interés epistémico.



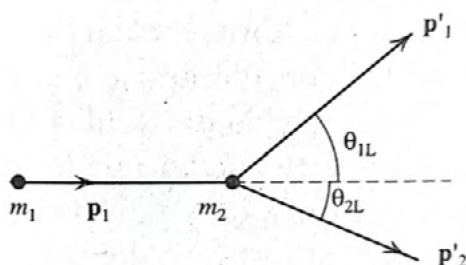
**Figura 3:** abanico de reacciones posibles producto de la interacción entre el proyectil incidente y el núcleo (Hodgson 1994, p. II2).

La interacción nuclear entre el proyectil y el núcleo se describe mediante el potencial esférico  $V(r)$ , que desvía la trayectoria del proyectil incidente y, así, dispersa su energía (de la Peña 2019, p. 449). La conceptualización del núcleo en términos del potencial esférico  $V(r)$  se toma del modelo de capas nucleares (Heyde 1994, p.58) y permite calcular la

14 Por ejemplo, este fue el método empleado por Rutherford (1911) en sus estudios sobre la radiación.

sección eficaz de dispersión nuclear (Hodgson 1994, p. 1). La sección eficaz indica la probabilidad de interacción de una partícula con un blanco determinado (Ferrer 2015, p. 170); es decir, en este caso, describe la interacción entre el proyectil y el núcleo. La fórmula geométrica de la sección eficaz es:  $\sigma = \pi R^2$ , donde R puede reemplazarse por el radio nuclear. Feshbach et al. (1954) calculan las secciones eficaces de las distintas reacciones de la interacción proyectil-núcleo. Para ello, se introduce la sección eficaz total  $\sigma$  que se divide en el siguiente cálculo  $\sigma_{total} = \sigma_{el} + \sigma_r$ , siendo  $\sigma_{el}$  la sección eficaz de la dispersión elástica y la sección eficaz de las otras reacciones (Feshbach *et al.* 1954, p. 449). En lo que sigue del trabajo, me limitaré a la dispersión elástica.<sup>15</sup>

Como se señaló en la figura 3, hay una plétora de reacciones resultantes de las interacciones proyectil-núcleo y cada una se calcula de manera distinta. Las secciones eficaces de las reacciones que involucran al núcleo compuesto son mucho más complicadas de calcular y analizar con precisión (Hodgson 1994, p. 112).<sup>16</sup> Por ello, el modelo óptico se especializa en el cálculo de la sección eficaz de la dispersión elástica, un fenómeno nuclear conceptualizado en términos de la óptica geométrica y clásica. El núcleo se representa como un medio óptico y la dispersión del proyectil incidente se describe en analogía con la refracción y la absorción de la luz en la óptica clásica. Para ello, el núcleo se presenta matemáticamente como un potencial complejo análogo al índice de refracción clásico (Hodgson 1994, pp. 165-166). Véase la figura 4, que grafica un fenómeno de dispersión nuclear elástica.



**Figura 4:** colisión elástica entre dos partículas (de la Peña 2019, p. 725)

<sup>15</sup> Las reacciones elásticas son aquellas que conservan su energía total, de modo que el núcleo mantiene su estado y el proyectil dispersado sólo cambia su dirección por la influencia del potencial esférico nuclear.

<sup>16</sup> Sin embargo, estas igualmente pueden calcularse por medios ópticos, aunque sólo se puede obtener una caracterización estadística general.

El diagrama nos presenta a una partícula incidente  $P_1$  (proyectil), lanzada desde  $m_1$ , que impacta a una partícula estática  $P_2$  en  $m_2$ , lo que genera una dispersión elástica en los ángulos  $\theta_{1L}$  y  $\theta_{2L}$ . El modelo óptico permite calcular la sección eficaz (probabilidad de interacción en la dispersión). Ahora bien, antes de ahondar en ello, corresponde revisar cómo el diagrama presenta su información. Compárese la figura 4 con la figura 2. En ambos casos, la información se presenta apelando a los términos de la óptica geométrica. El elemento incidente –en óptica clásica, la luz; en óptica nuclear, un nucleón– se representa como un vector con sus propiedades geométricas correspondientes, como dirección ( $\vec{P}_n$ ), ( $\vec{V}_n$ ) y ángulo  $\theta$ . El uso de esta nomenclatura no es accidental, sino deliberado, ya que el esquema conceptual de la óptica geométrica (que es trasfondo de la óptica clásica y, por ello, de la óptica nuclear) es necesario para hablar de óptica en sus estratos subsecuentes.

¿Cómo calcula el modelo óptico la sección eficaz de la dispersión elástica apelando a la analogía con la óptica clásica y geométrica? La sección eficaz se calcula a partir del teorema óptico, cuya fórmula es  $\sigma = \frac{4\pi}{k} \text{Im} f(0)$ , donde  $\sigma$  es la sección eficaz,  $k$  es la onda asociada a la partícula incidente y  $f(0)$  es la amplitud de dispersión (Kim *et al.*, 1997, p. 802). El teorema óptico pertenece a un estrato anterior de la óptica; es un *axioma* (en el sentido sintáctico de la sección 1) que establece la relación entre la dispersión de la onda de un objeto incidente y la sección eficaz resultante (Gustafsson *et al.*, 2012, p. 3818). La partícula incidente tiene una función de onda asociada, y si se sustituye matemáticamente la función de onda parcial de la partícula incidente en el teorema óptico, el modelo puede calcular la sección eficaz de dispersión nuclear.<sup>17</sup>

¿Qué nos indica este caso? En el estrato de la física nuclear, su lenguaje objeto *habla* sobre fenómenos nucleares como la dispersión elástica de energía del núcleo. Ahora bien, dicho lenguaje requiere un trasfondo. Para predecir la sección eficaz de la dispersión nuclear, necesito los conceptos del lenguaje óptico geométrico (teorema óptico), que constituyen la base conceptual del lenguaje objeto de la óptica nuclear. La óptica geométrica da la condición de posibilidad para el lenguaje de la óptica clásica, que, en conjunto con la óptica geométrica, da la condición de posibilidad para hablar de fenómenos ópticos nucleares a partir de la analogía del modelo. La óptica clásica entrega el índice de refracción y

<sup>17</sup> El desarrollo matemático de la aplicación del teorema óptico al caso nuclear es bastante complejo y extenso, por lo que véase Kim *et al.*, 1997, pp. 802-804, para un desarrollo completo.

la caracterización clásica-geométrica del fenómeno, como la curvatura de la luz al cambiar de medio; el modelo óptico emplea esta idea para describir el potencial de la dispersión elástica, estableciendo una analogía entre el cambio de medios (óptica clásica) y el cambio de fase producto del potencial (física nuclear). Por ello, los estratos anteriores son trasfondos necesarios para que los estratos posteriores puedan *hablar* de sus objetos de estudio mediante los conceptos de sus trasfondos disciplinares.

Para finalizar esta sección, cabe aclarar que los enunciados de los estratos posteriores no se deducen formalmente de los anteriores (Toulmin 1953, pp. 84-85). Los enunciados de la refracción no se deducen de la ley de Snell, ni la ley de Snell se deduce de la trigonometría o del principio de Fermat. Asimismo, el diseño del modelo óptico no se deduce de la analogía con la óptica clásica, del teorema óptico de la óptica geométrica ni de la caracterización del núcleo como potencial esférico. Por lo mismo, los estratos posteriores no son reducibles a los anteriores. El ejemplo de los estratos del lenguaje óptico muestra que muchos conceptos se asumen por razones pragmáticas (Toulmin 1953, p. 81), pues al asumirlos, resultan útiles para conceptualizar, caracterizar y, en general, hablar de los fenómenos de los estratos posteriores. Nuevamente, el modelo óptico asume el potencial esférico, lo que permite, por ejemplo, aplicar ciertas herramientas y métodos matemáticos, como la aproximación de Hartree-Fock.<sup>18</sup>

Todos estos elementos del trasfondo disciplinar, aceptados por razones prácticas relativas al lenguaje objeto, se mantienen como parte de las bisagras de mi imagen de mundo. Los principios geométricos, propios del estrato de la óptica geométrica, no son enunciados empíricos de la teoría óptica clásica o nuclear ni de sus lenguajes objetos, sino presupuestos de su trasfondo común.<sup>19</sup> Las estructuras geométricas y sus conceptos (como la representación vectorial del rayo incidente) son necesarios para *hablar* de los fenómenos ópticos y nucleares, pues constituyen el trasfondo de la teoría y determinan su lenguaje. En la sección siguiente, se ahonda en la discusión sobre la función normativa de estas bisagras y cómo esta limita su valor de verdad.

18 El método de aproximación de Hartree-Fock se usa para describir la interacción entre un nucleón individual  $i$  y el potencial nuclear generado por el resto de nucleones (de la Peña, 2019, p.671).

19 Cabe mencionar que el debate acerca de si las proposiciones matemáticas son proposiciones bisagras es bastante más extenso (véase, por ejemplo, Hamilton 2014, sección 6.8). En este punto me limito a sostener que en este caso *estas* proposiciones matemáticas (como las verdades geométricas) *funcionan como* proposiciones bisagras.

#### 4. Valor de verdad de los enunciados del lenguaje objeto

En el esquema wittgensteiniano, nuestra imagen de mundo es el parámetro que establece la verdad y la falsedad de nuestras creencias y juicios empíricos, ya que dicha imagen se constituye por proposiciones bisagras que no tienen un rol descriptivo, sino uno normativo (Coliva 2010, p. 183). A pesar de que las proposiciones bisagra puedan tener la forma de enunciados empíricos, estas proposiciones no funcionan así en el lenguaje objeto, sino como reglas del lenguaje que determinan el uso correcto de las palabras y la verdad de los juicios empíricos (Hamilton 2014, p. 95). De este modo, la imagen de mundo establece las reglas para que se puedan dar los juegos de lenguaje (SC §95; §167). Esto implica que las proposiciones bisagra –en tanto funcionan como bisagras– no tienen valor de verdad; aunque estas mismas sí tienen un valor de verdad determinado si se consideran enunciados empíricos de otra imagen de mundo.<sup>20</sup>

En la literatura de la filosofía de las ciencias, una idea similar es sostenida por Toulmin (1953): términos como verdad y falsedad no son aplicables al trasfondo de la disciplina, en tanto este funciona como sustrato conceptual para la teoría (pp. 77-80). Las estructuras de trasfondo son presupuestas para el desarrollo de la práctica científica y su presuposición responde a cuestiones pragmáticas. Cuando Feshbach *et al.* (1954) utilizan todo su aparato conceptual para desarrollar la analogía óptica y calcular la sección eficaz, no discuten el valor de verdad de los conceptos que presuponen. Se asume la verdad de enunciados tipo “*el núcleo es un pozo potencial esférico*” del modelo de capas nucleares (Heyde 1994, p. 58; Goepfert-mayer & Jensen 1955, p. 38) cuando se habla de la sección eficaz en la dispersión elástica del núcleo, así como se asume la verdad del principio de Fermat al hablar sobre la ley de Snell (Dereniak & Dereniak 2008, pp. 31-36). No se discute el valor de verdad de estos enunciados cuando no forman parte del lenguaje objeto particular.

20 Vuélvase a los estratos de los lenguajes de la óptica: los enunciados geométricos de la óptica geométrica (como que la luz es un vector) son bisagras en los juegos del lenguaje de la óptica clásica y nuclear. No obstante, los enunciados de la óptica geométrica –como el teorema óptico (véase Rayleigh, 1871)– son enunciados normales (*empíricos*) en el juego del lenguaje de la óptica geométrica. Asimismo, los enunciados de la óptica clásica, empíricos en su juego del lenguaje clásico, son bisagras en el juego del lenguaje nuclear. Todo esto se debe a la *fluidéz* del lenguaje (SC §96). Por ello, estos enunciados tienen un valor de verdad tarskiano (Tarski, 1956) cuando son enunciados normales del lenguaje objeto, pero no se les atribuye dicho valor en el lenguaje cuando son bisagras normativas que constituyen el trasfondo disciplinar del lenguaje objeto del que se habla.

Sin embargo, dicho esto, no se asumen estas bisagras conceptuales como verdades indubitables, pues su valor de verdad depende de la imagen de mundo en la que dichas bisagras sean empíricas. En el caso de la óptica clásica, se presupone la ley de Snell para hablar de los fenómenos de refracción; no obstante, esta no se cumple en los medios anisotrópicos, por lo que no es universalmente verdadera.<sup>21</sup> Estos cambios requieren que pase de discutir en un juego del lenguaje particular a otro. Para *hablar* de la ley de Snell como enunciado empírico, debo estar en un juego del lenguaje en el que dicha ley forme parte del lenguaje objeto y no una bisagra del trasfondo. En tal caso, la ley de Snell deja de ser una bisagra y pasa a ser un enunciado normal de su juego del lenguaje; ahora, las propiedades geométricas de los vectores y el principio de Fermat son sus bisagras.

El trasfondo disciplinar de la teoría desempeña un papel similar al de la imagen de mundo en la determinación de la verdad de nuestras creencias y juicios empíricos. No obstante, una tesis de este tipo en filosofía de las ciencias puede ser criticada por implicar algún tipo de relativismo; por consiguiente, limito la analogía a la determinación del valor de verdad tarskiana de los enunciados y no me refiero a ningún concepto ulterior de verdad metafísica relacionado con ideas próximas al realismo científico. Cabe mencionar que Tarski (1956, p. 153) toma la concepción clásica de la verdad de Kotarbinski (1929)<sup>22</sup> donde la verdad se define en términos de concordancia con la realidad (Kotarbinski 1966, p. 106). Sin embargo, deliberadamente desatiendo su correlato metafísico y mantengo la caracterización de la verdad formal de Tarski apelando a la satisfacción formal de los enunciados del lenguaje (Tarski 1956, p. 189), pero los objetos que satisfacen la función del enunciado no son los objetos reales, sino las estructuras que entrega el trasfondo disciplinar.

Sin embargo, *¿cómo evita esta idea caer en un relativismo?* De forma resumida, el relativismo sostiene que los estándares para juzgar una idea o creencia varían según el contexto u otro parámetro pertinente al caso (Baghramian & Carter 2022). Es decir, la *verdad* o la *falsedad* de las proposiciones depende del contexto. El relativismo no es viable en el

21 Los medios isotrópicos son aquellos en los que las propiedades de las magnitudes vectoriales no dependen de la dirección, mientras que los medios anisotrópicos son aquellos en los que no se cumple esta característica. La ley de Snell solo se aplica en medios isotrópicos, ya que la refracción cumple una relación entre ambos medios que no depende de la dirección del rayo.

22 El texto original de Kotarbinski en polaco es de 1929, pero utilizo la traducción al inglés de 1966.

caso del conocimiento científico, ya que, si la evaluación epistémica de nuestro conocimiento sobre el mundo es relativa al contexto, entonces cabe cuestionar la objetividad y la transversalidad de dicho conocimiento.<sup>23</sup> Sostener una postura relativista en las ciencias puede conllevar una pérdida de la fiabilidad del conocimiento científico.

Para no caer en el relativismo, utilizo el valor de verdad de los enunciados formales del lenguaje objeto de la teoría para caracterizar la “verdad” formal. El valor de verdad de un enunciado formal se define en términos de referencia y de satisfacción de las condiciones de verdad de su función lógica, por lo que un enunciado es verdadero si se cumple su extensión lógica (Glanzberg 2021). El enunciado “*la nieve es blanca*” es verdadero en el sentido tarskiano *si y sólo si* el objeto denominado “*nieve*” tiene la propiedad de “*ser blanca*” (Glanzberg 2021). El enunciado presenta una función  $(\exists x \in U) p(x)$  que se satisface si existe un  $x$  en el dominio  $U$  tal que tiene la propiedad  $p$ . En el esquema de la concepción dual, las estructuras que entrega el trasfondo disciplinar son la extensión lógica de los enunciados al satisfacerlos y dotarles de contenido semántico (sección 1). Por ello, si la estructura en cuestión satisface las condiciones de verdad de la función lógica del enunciado, entonces el enunciado será verdadero; de lo contrario, será falso.

En el caso del trasfondo disciplinar, este suministra estructuras que satisfacen lógicamente el lenguaje objeto de la teoría, de modo que determina el valor de verdad de sus enunciados al satisfacer las condiciones de verdad de la función lógica que los constituye. En la concepción sintáctica, si tengo un enunciado formal cuya función lógica es  $Fx \& Gx$ , dicha función se satisface por un objeto  $x$  que tenga las propiedades  $F$  y  $G$  según la interpretación que se les dé. Por ejemplo (Frigg 2022, p. 47), si interpreto  $F$  como “*nacido en Königsberg*” y  $G$  como “*ser el autor de La crítica de la razón pura*”, entonces *Immanuel Kant* es el objeto  $x$  que satisface la función  $Fx \& Gx$ . En cambio, si interpreto  $F$  como “*es un cetáceo odontoceto*” y  $G$  como “*posee ecolocalización*”, entonces los objetos que satisfacen la función son las *marsopas* y los *delfines*. En el caso de las teorías, la función de sus enunciados es satisfecha por las estructuras de trasfondo. Por ejemplo, el modelo de bolas de billar satisface la teoría cinética de los gases (Frigg, 2022, p. 50); el modelo newtoniano satisface los axiomas de la mecánica clásica (Suppes 1957, pp. 291-305); y los conceptos de la óptica clásica y geométrica satisfacen

23 Véase Douglas 2009 para una discusión más amplia sobre la objetividad del conocimiento en ciencias.

los enunciados de la analogía del modelo óptico nuclear. Tanto la idea de imagen de mundo como la noción de trasfondo disciplinar prescriben un modo de conceptualización del mundo fenoménico y, por ello, nuestras descripciones empíricas son verdaderas al corresponderse con dicha *imagen*.

El trasfondo disciplinar tiene una función normativa, pues determina el valor de verdad de los enunciados de la teoría, limitado al juego de su lenguaje objetivo. El coste de sostener esta idea es aceptar un falibilismo de nuestras teorías científicas: las afirmaciones de la teoría sobre los fenómenos pueden estar equivocadas (Baghramian & Carter 2022). Se deja abierta la posibilidad de un error en nuestra descripción de los fenómenos. Esto es apreciable a lo largo de la historia de las ciencias,<sup>24</sup> en especial en los casos de teorías que se referían a entidades del mundo que luego se descubrieron como inexistentes, como el flogisto, el éter o el flujo calórico. Nuestras descripciones del mundo pueden estar equivocadas; la posibilidad existe. No obstante, esto no afecta la verdad fáctica del estado de cosas del mundo; los fenómenos del mundo son independientes de nuestra teorización y de los conceptos que usemos para hablar de ellos.

El falibilismo de nuestras teorías científicas no conlleva un riesgo para la objetividad y la robustez epistémica de nuestro conocimiento científico, pues la objetividad de las ciencias se determina por los criterios imparciales que cimentan la práctica científica (Longino 1990, p. 62). El trasfondo disciplinar es imparcial e impersonal, pues no está determinado por criterios subjetivos y arbitrarios de los agentes particulares. Tanto el trasfondo disciplinar como la imagen de mundo (a nivel macro de la estructura social) funcionan como una base impersonal e intersubjetiva para las creencias de los agentes de la comunidad. Por lo tanto, la influencia del trasfondo no implica relativismo, ya que se mantiene la objetividad del conocimiento científico. El núcleo atómico, por ejemplo, es un objeto real del mundo cuyas cualidades son lo que son, independientemente de si yo describo al núcleo como un cristal para hablar de fenómenos ópticos nucleares (Feshbach *et al.* 1954), como una gota líquida para hablar de su estabilidad (Gamow 1937) o como un elipsoide para hablar de su inercia (Bohr & Mottelson 1969). Mi esquema conceptual no altera la ontología de los fenómenos.

24 Kuhn (1970) se centra en gran medida en la exploración de casos en la historia de las ciencias en los que esto ocurre.

## 5. Uso de los conceptos en el lenguaje científico

“Juegos de lenguaje” es un concepto relevante de la primera parte de las *Investigaciones filosóficas* de Wittgenstein y establece una analogía entre el lenguaje y los juegos: ambos son actividades sociales guiadas por reglas (la gramática en el caso del lenguaje) que determinan su uso correcto o apropiado (Glock 1996, p. 193). Esto lleva a la idea de que el significado de las palabras no es un objeto referido por ellas, sino que se da por su uso. Asimismo, una proposición del lenguaje es una operación dentro del juego, cuyo significado se debe a que forma parte del sistema que la sostiene (Glock 1996, pp. 193-194). Los juegos de lenguaje son actividades humanas (lingüísticas y no lingüísticas) que se refieren a las formas en que se desenvuelve el lenguaje en su uso (Hamilton 2014, p. 27-29); es en relación con esta actividad que los conceptos y enunciados adquieren el sentido y el significado que tienen. El significado –entendido como el uso de las palabras– en los juegos del lenguaje tiene un sentido holístico respecto de la semántica de estos conceptos, y dicho holismo no es ajeno a las discusiones clásicas en filosofía de las ciencias.<sup>25</sup> Ahora bien, la pregunta relevante de esta sección es: *¿Es viable aplicar esta comprensión del lenguaje y su relación con la imagen de mundo (y las formas de vida) al contexto del lenguaje científico y a su relación con el trasfondo y el desarrollo de la práctica científica?*

Primero, corresponde explicar la relación entre juegos de lenguaje e imagen de mundo para luego evaluar la viabilidad de aplicar esta analogía al lenguaje científico. La idea de imagen de mundo puede comprenderse como un modo de caracterizar el mundo, lo cual, a su vez, determina ciertas formas de vida, es decir, los modos en que los agentes realizan sus distintas actividades (Hamilton 2014, p. 29). Hablar un lenguaje es una actividad humana que forma parte de una forma de vida (IF §23), ya que la práctica de la vida humana funciona como el cimiento sobre el cual se desarrollan sus actividades, incluido el lenguaje. Por tanto, el uso de las palabras se relaciona con la idea de imagen de mundo a través de la relación entre los juegos de lenguaje y las formas de vida.

La ciencia también es una actividad humana-social, influida por nuestra forma de vida, es decir, por el modo en que se realiza la prác-

<sup>25</sup> Véase Andreas (2010) para una discusión más extensa acerca del holismo semántico en el lenguaje científico.

tica científica y por el contexto histórico-social en el que se desarrolla.<sup>26</sup> Los distintos contextos en los que se realiza la actividad científica inciden en su ejecución, ya sea por cuestiones políticas que influyen en las instituciones y en las subvenciones que puedan recibir (Merton 1973, pp.255-257), o por cuestiones religiosas, como el fomento de los estudios astronómicos en el mundo medieval islámico (Heilbron 2018, p.35). En cualquiera de estos casos, los distintos factores y elementos relativos a la estructura social de la comunidad inciden en la práctica científica y/o en la caracterización del mundo y de los fenómenos. El impacto de las formas de vida en la *imagen* que se tiene de los fenómenos es relevante, dada su influencia en los conceptos que sirven de trasfondo disciplinar para la teoría y su lenguaje objeto.

*¿Qué implicaciones tiene esto respecto del lenguaje científico?* El trasfondo disciplinar tiene una función normativa al establecer las *reglas* que determinan el modo en que se desarrolla la práctica científica. Dicha práctica incide en los modos de conceptualización de los fenómenos. Por ejemplo, algo particular de la física nuclear es que no existe una caracterización uniforme del núcleo atómico (Cook 2010, p. ix), por lo que hay una miríada de representaciones. La plétora de modelos incide en que, en la práctica, se utilicen modelos fenomenológicos y analogías para describir y hablar de los fenómenos nucleares. El modelo de capas nucleares no define al núcleo como un potencial esférico con una configuración nuclear particular porque se sostenga que así es el núcleo en realidad, sino porque funciona para resolver el problema para el que fue diseñado (Goepfert-Mayer & Jensen 1955, p. 50). Asimismo, la conceptualización, en términos ópticos, de los fenómenos nucleares de dispersión elástica responde a una práctica similar (Hodgson 1994, pp. 170-188).<sup>27</sup> De este modo, el trasfondo disciplinar determina los conceptos lenguaje objeto mediante la demarcación de su significado, ya que estos dependen –por un lado– de sus interacciones dentro del sistema establecido por los conceptos del trasfondo y –por otro lado– de las prácticas científicas en las que se conceptualizan los fenómenos.

Ahora bien, cabe señalar que el esquema conceptual no es fijo, sino que cambia junto con el desarrollo de las ciencias, al igual que la imagen de mundo en la metáfora del río: el estatus de las proposiciones (creen-

<sup>26</sup> Véase Longino (1990) para una discusión más extensa del carácter social de las ciencias.

<sup>27</sup> Ahora bien, el modelo óptico tiene tanto una justificación fenomenológica como teórica (Hodgson 1994, pp. 188-193), por lo que la discusión es más compleja.

cias) cambia con el paso del tiempo; algunas que fluyen se solidifican y otras, sólidas, se fluidifican (SC §96). Resulta fundamental la relación entre el desarrollo científico y el desarrollo del lenguaje científico que conceptualiza los fenómenos estudiados por la disciplina. Por ello, en la historia de las ciencias son abundantes los casos de cambios conceptuales que implican, entre otras cosas, cambios en el lenguaje de las teorías<sup>28</sup>. Por tanto, el contexto histórico es relevante para la determinación del lenguaje objeto y del significado de sus conceptos.

Ante el problema del cambio conceptual, Nersessian (1987) propone que el trasfondo de cada contexto histórico determina el uso y, por ende, el significado de los conceptos, por lo que un mismo concepto puede tener diferentes sentidos en distintos contextos históricos (pp. 167-168). Hay casos en los que no existe una definición analítica que sea transversal a las distintas iteraciones de un concepto a lo largo de la historia de una disciplina. Una definición analítica establece un conjunto de condiciones suficientes y necesarias para definir un concepto (Glock 1996, p. 121); sin embargo, este tipo de definición no basta para dar cuenta de los conceptos a lo largo de la historia de las ciencias. Por ejemplo, el concepto de “campo electromagnético” ha cambiado en la historia de la física<sup>29</sup> (Nersessian 1987, p.165): Faraday se refería al “campo” como “líneas de fuerza” y lo consideraba una *propiedad* del éter. Maxwell matematiza el fenómeno y, para ello, lo define como un *estado* del éter mecánico. En cambio, de acuerdo con la teoría de Lorentz, el campo es un estado no newtoniano del éter y se debe a la interacción entre las cargas y el medio. Finalmente, la relatividad especial de Einstein define el campo electromagnético como un elemento irreducible que no es el estado de ninguna sustancia. En cada contexto histórico, el significado del concepto de “campo” cambió, pues en cada caso ocupa un lugar dentro de un sistema de creencias distinto y responde a diferentes problemas (Nersessian 1987, p.166).

El significado de los conceptos científicos se relaciona con el contexto histórico y práctico en el que se desenvuelven (Moulines 1989,

28 Véase Kuhn (1970), capítulo 10. El concepto de inconmensurabilidad de Kuhn está estrechamente ligado a la comprensión que una comunidad científica, en un momento histórico, tiene de los fenómenos que estudia y a cómo ello repercute en sus conceptos científicos y, por consiguiente, en su lenguaje. La diferencia de lenguaje (que implica una diferencia en la caracterización del mundo) es uno de los factores que hacen inconmensurables las teorías pertenecientes a distintos paradigmas en distintos momentos históricos y contextos socioculturales.

29 Véase Nersessian (1984) para una comparación más extensa del concepto de “campo”.

p. 342). Todos estos casos demuestran que no es viable una definición analítica que delimite los conceptos del lenguaje científico, por lo que conviene apelar a los parecidos de familia en los usos de un concepto en distintos contextos de investigación. Los “parecidos de familia” se refieren a un sistema complejo de similitudes entre las distintas iteraciones de un concepto y sus distintos usos, sin apelar a condiciones o características esenciales constantes en todos los casos (IF §66), como ocurre con el concepto de “campo electromagnético”.

Sin embargo, en la práctica científica suelen emplearse definiciones analíticas para establecer y delimitar conceptos. Por ejemplo, en la electrodinámica cuántica, el campo electromagnético se define matemáticamente como el campo gauge que media la interacción entre los espines. Por ello, no puede descartarse de forma automática el uso de estas definiciones. No obstante, esto no es un problema, ya que se puede dejar abierta la posibilidad de establecer definiciones analíticas en contextos particulares por razones prácticas (Glock 1996, p.121). El uso de parecidos de familia para explicar los conceptos científicos no busca negar la posibilidad de estipular definiciones analíticas, sino sostener que dichas definiciones se dan en contextos históricos particulares, por lo que no pueden usarse de manera transversal más allá de dichos contextos.

La analogía entre la idea de imagen de mundo y el trasfondo de una disciplina científica resulta útil para explicar cómo este se relaciona con los conceptos del lenguaje objeto de la teoría. El trasfondo disciplinar se ubica en determinados contextos históricos; por ello, al igual que el lecho del río cambia con el paso del tiempo (SC §96), también cambian las formas en que se desarrolla la práctica científica y se utiliza el lenguaje.

## Conclusión

La ciencia es una actividad social cuyo lenguaje y metodología están determinados por el trasfondo disciplinar en el que se inscribe. Dicho trasfondo cumple una función de meta-lenguaje con el lenguaje objeto, ya que establece las estructuras que satisfacen al lenguaje objeto, al lenguaje objeto mismo y a su interpretación. Todos estos elementos determinan el modo en que el trasfondo disciplinar circunscribe los juegos posibles del lenguaje objeto en las ciencias. Además, dicho trasfondo nos presenta la estratificación del lenguaje científico y cómo los conceptos de los estratos anteriores nos permiten hablar en los juegos del lenguaje de los estratos posteriores. Esto se debe, nuevamente, al modo en el que el trasfondo funciona como meta-lenguaje que determi-

na el lenguaje objeto. La relación entre los distintos estratos del lenguaje se ilustra con el caso de estudio de la óptica. El lenguaje de la geometría determina el de la óptica geométrica, que, a su vez, determina el de la óptica clásica, que, igualmente, determina el de la óptica nuclear. Todos estos estratos se relacionan en términos de trasfondo disciplinar y lenguaje objeto, donde el trasfondo nos brinda las bisagras para jugar los juegos de los estratos posteriores. En este trabajo, no profundicé en la pregunta acerca de *qué* es el trasfondo disciplinar (ya sea un paradigma, una red de creencias, un programa de investigación, una visión de mundo, etc.), sino en cómo dicho trasfondo funciona: *¿cómo el trasfondo de la disciplina científica determina el lenguaje objeto de la teoría?* Pues, de manera similar a la manera en que la idea de imagen de mundo y las formas de vida determinan los juegos del lenguaje cotidiano en el esquema wittgensteiniano.

## Referencias Bibliográficas

- Andreas, H. (2010). Semantic holism and scientific language. *Philosophy of Science*, 77(4), 524-543. <https://doi.org/10.1086/656007>
- Baghramian, M., & Carter, J. A. (2022). Relativism. En E. N. Zalta (Ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2022 ed.). Recuperado de <https://plato.stanford.edu/archives/spr2022/entries/relativism/>
- Bohr, A., & Mottelson, B. (1969). *Nuclear structure: Volume I*. A. W. Benjamin, Inc.
- Brown, G. E. (1959). Foundations of the optical model for nuclei and direct interaction. *Reviews of Modern Physics*, 31(4), 893-919.
- Coliva, A. (2010). *Moore and Wittgenstein: Scepticism, certainty and common sense*. Palgrave Macmillan.
- Cook, N. (2010). *Models of the atomic nucleus*. Springer.
- De la Peña, L. (2019). *Introducción a la mecánica cuántica*. Fondo de Cultura Económica.
- Dereniak, E., & Dereniak, T. (2008). *Geometrical and trigonometric optics*. Cambridge University Press.
- Douglas, H. (2009). *Science, policy and the value-free ideal*. University of Pittsburgh Press.
- Feigl, H. (1970). The 'orthodox' view of theories: Remarks in defense as well as critique. En M. Radner & S. Winokur (Eds.), *Analyses of theories and methods of physics and psychology* (Vol. IV, pp. 3-16). University of Minnesota Press.

- Ferrer, A. (2015). *Física nuclear y de partículas*. Universitat de València.
- Feshbach, H., Porter, C. E., & Weisskopf, V. F. (1954). Model for nuclear reactions with neutrons. *Physical Review*, 96(2), 448-464.
- French, S. (2020). *There are no such things as theories*. Oxford University Press.
- Frigg, R. (2022). *Models and theories: A philosophical inquiry*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003257625>
- Gamow, G. (1937). *Structure of atomic nuclei and nuclear transformations*. Clarendon Press.
- Glanzberg, M. (2021). Truth. En E. N. Zalta (Ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Summer 2021 ed.). Recuperado de <https://plato.stanford.edu/archives/sum2021/entries/truth/>
- Glock, H.-J. (Ed.). (1996). *A Wittgenstein dictionary*. Wiley-Blackwell.
- Goeppert-Mayer, M. G., & Jensen, J. H. D. (1955). *Elementary theory of nuclear shell structure*. John Wiley & Sons.
- Gustafsson, M., Vakili, I., Bayer Keskin, S. E., Sjöberg, D., & Larsson, C. (2012). Optical theorem and forward scattering sum rule for periodic structures. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 60(8), 3818-3826. <https://doi.org/10.1109/TAP.2012.2201113>
- Halvorson, H. (2012). What scientific theories could not be. *Philosophy of Science*, 79, 183-206.
- Hamilton, A. (2014). *Wittgenstein and on certainty*. Routledge.
- Hanson, N. R. (1958). *Patterns of discovery*. Cambridge University Press.
- Heilbron, J. L. (2018). *The history of physics: A very short introduction*. Oxford University Press.
- Heyde, K. (1994). *The nuclear shell model*. Springer-Verlag.
- Hodgson, P. R. (1994). *The nucleon optical model*. World Scientific.
- Kaal, J. E., Sorensen, J. A., Otte, A., & Emming, J. G. (2021). *The nature of the atom: An introduction to the structured atom model*. Curtis Press.
- Kim, Y. R., Kim, Y. J., Zubarev, A. L., & Yoon, J. (1997). Optical theorem formulation of low-energy nuclear reactions. *Physical Review C*, 55(2), 801-809.
- Kotarbiński, T. (1966). *Gnosiology: The scientific approach to the theory of knowledge*. Pergamon Press. (Obra original publicada en 1929)
- Kuhn, T. S. (2015). *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica. (Obra original publicada en 1970)
- Longino, H. E. (1990). *Science as social knowledge: Values and objectivity in scientific inquiry*. Princeton University Press.
- Merton, R. K. (1973). *The sociology of science: Theoretical and empirical investigations* (N. W. Storer, Ed.). University of Chicago Press.

- Moulines, C. U. (1989). ¿Hay una filosofía de la ciencia en el último Wittgenstein? *Theoria*, 4(11), 327-342.
- Nagel, E. (1961). *The structure of science*. Harcourt, Brace & World.
- Nersessian, N. J. (1984). Faraday's field concept. En N. J. Nersessian (Ed.), *Faraday to Einstein: Constructing meaning in scientific theories* (pp. 175-187). Martinus Nijhoff.
- Nersessian, N. J. (1987). A cognitive-historical approach to meaning in scientific theories. En N. J. Nersessian (Ed.), *The process of science: Contemporary philosophical approaches to understanding scientific practice* (pp. 161-177). Martinus Nijhoff.
- Nersessian, N. J. (2008). *Creating scientific concepts*. MIT Press.
- Nersessian, N. J., & Andersen, H. (2000). Nomic concepts, frames, and conceptual change. *Philosophy of Science*, 67, 224-241. <http://www.jstor.org/stable/188670>
- Ortiz, C. (2020). Sobre la verdad y la nobleza de la ciencia. En H. Poincaré, *La ciencia y la moral* (pp. 7-19). Fe de Ratas.
- Poincaré, H. (1895). Analysis situs. *Journal de l'École Polytechnique*, 1(2), 1-121.
- Portides, D. (2017). Models and theories. En L. Magnani & T. Bertolotti (Eds.), *Springer handbook of model-based science* (pp. 25-47). Springer.
- Rayleigh, L. (1871). On the light from the sky, its polarization and color. *Philosophical Magazine*, 41, 107-120.
- Rutherford, E. (1911). The scattering of  $\alpha$  and  $\beta$  particles by matter and the structure of the atom. *Philosophical Magazine*, 21(125), 669-688.
- Savage, C. W. (1990). Preface. En C. W. Savage (Ed.), *Scientific theories* (pp. vii-ix). University of Minnesota Press.
- Suppe, F. (1974). *The structure of scientific theories*. University of Illinois Press.
- Suppes, P. (1957). *Introduction to logic*. Van Nostrand.
- Suppes, P. (1967). What is a scientific theory? En S. Morgenbesser (Ed.), *Philosophy of science today* (pp. 55-67). Basic Books.
- Tarski, A. (1956). *Logic, semantics, metamathematics: Papers from 1923 to 1938* (2ª ed.). Hackett.
- Toulmin, S. (1953). *The philosophy of science*. Hutchinson.
- Toulmin, S. (1961). *Foresight and understanding*. Hutchinson.
- Verlet, L., & Gavoret, J. (1958). On the optical model for nuclear reactions. *Il Nuovo Cimento*, 10(3), 505-519.
- Verlet, L. (1958). On the optical model for nuclear reactions. *Il Nuovo Cimento*, 7(6), 821-828.

- Vorms, M. (2018). Theories and models. En A. Barberousse, D. Bonnay & M. Cozic (Eds.), *The philosophy of science* (pp. 171–224). Oxford University Press.
- Winther, R. G. (2021). The structure of scientific theories. En E. N. Zalta (Ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2021 ed.). Recuperado de <https://plato.stanford.edu/archives/spr2021/entries/structure-scientific-theories/>
- Wittgenstein, L. (2017). *Investigaciones filosóficas*. Gredos. (Obra original publicada en 1953)
- Wittgenstein, L. (2022). *Sobre la certeza*. Gedisa. (Obra original publicada en 1969)
- Zarnikhi, A. (2005). Language development and scientific development: A case study of physics terminology creation in Persian. *Terminology*, 11(2), 293-309. <https://doi.org/10.1075/term.11.2.05zar>