



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

**EL PAPEL DE LA METÁFORA COMO ELEMENTO INTEGRADOR ENTRE
VALORES ESTÉTICOS Y EPISTÉMICOS EN LA CIENCIA**

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

MARIANA TRUJILLO MARTÍNEZ

TUTOR
DR. SERGIO FERNANDO MARTÍNEZ MUÑOZ
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FILOSÓFICAS

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX. 2024



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**PROPUESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y
HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL
Graduación con trabajo escrito**

De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción 1, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la Institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado ***El papel de la metáfora como elemento integrador entre valores estéticos y epistémicos en la ciencia*** que presenté para obtener el grado de **Maestría** es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi programa de posgrado, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de graduación.

Atentamente

Mariana Trujillo Martínez, 523014171

Agradecimientos

Quiero expresar mi sincero agradecimiento, en primer lugar, a la coordinación del Posgrado en Filosofía de la Ciencia por su siempre amable orientación. Agradezco también al CONAHCYT por su apoyo a través de su programa de Becas Nacionales, que me permitió dedicarme de tiempo completo a la escritura de esta tesis y cumplir con los requisitos del programa de Filosofía de la Ciencia desde agosto de 2022 hasta agosto de 2024.

También quiero expresar mi sincero agradecimiento al Dr. Sergio Martínez por su constante apoyo a lo largo de la redacción de esta tesis, y por ayudarme a convertir una idea en un proyecto con pies y cabeza. Agradezco igualmente a mis revisoras, las Dras. Natalia Carrillo y Kirareset Barrera, cuyos comentarios y observaciones, siempre amables y pertinentes, me permitieron realizar el mejor trabajo posible.

A la Dra. Ana Laura Fonseca, por la dedicación y cuidado con que leyó mi tesis —por segunda ocasión— y por el café. A la Dra. Karen González, por enseñarle a la estudiante de física de 2017 a plantear las preguntas filosóficas pertinentes, lo cual no debió ser fácil. Después, tuviste que enseñarme a plantearlas en menos palabras; gracias también por eso. Agradezco profundamente a ambas por haber sido parte de ambos procesos de titulación.

A mi familia por el apoyo incondicional. A mi hermana por el regalo inesperado. A mis amigos, tendría que escribir demasiadas páginas para agradecer a cada uno por su apoyo emocional, sólo les diré: Gracias totales.

Finalmente, a Andrei, por su incansable sociólogo interno que no me deja de recordar que los objetos que estudio, por más abstractos que los quiera ver, siempre ocurren situados en un «contexto humano». A tu historiador interno por siempre tener un ejemplo (o contraejemplo) a la mano. Andrei, simplemente gracias.

Tabla de contenido

<i>Índice de imágenes</i>	6
<i>Introducción</i>	7
<i>1 Valores estéticos y su estatus epistémico</i>	11
1.1 Una filosofía de la ciencia centrada en prácticas científicas.....	12
1.2 Valores estéticos como guías epistémicas	16
<i>2 Valores estéticos corporizados en prácticas</i>	24
2.1 La belleza en los experimentos	24
2.1.2 El Péndulo de Foucault	27
<i>3 Valores estéticos articulados en metáforas</i>	30
3.1 Aproximaciones lingüística y lingüístico-cognitiva a la metáfora	30
3.2 Teoría Conceptual de la Metáfora.....	34
3.2.1 Metáforas científicas exitosas	39
3.3 De la <i>doble hélice</i> al experimento más bello de la biología.....	43
<i>Conclusiones</i>	52
<i>Referencias</i>	55

Índice de imágenes

Ilustración 1 Arnaud 25, (2008). Pendule de Foucault du Panthéon de París. https://acortar.link/OnD0Bk	27
Ilustración 2 Fotografía 51 a la izquierda, Watson y Crick con su modelo a la derecha. (2016). Acevedo-Díaz, José., García-Carmona, et. al. Rosalind Franklin y la doble hélice del ADN. https://goo.su/PTBAn	46
Ilustración 3 Replicación dispersiva. (2017). Composición de las moléculas antes y después. https://goo.su/7CziLJG	47
Ilustración 4 Replicación semiconservativa. (2017). Composición de las moléculas antes y después. https://goo.su/7CziLJG	47
Ilustración 5 El dalmata "escondido". (s. f). Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gestalt5.PNG	54

«Todo lo transitorio [inefable]
es sólo un símil [una metáfora]»
— Johann Wolfgang von Goethe,
Fausto: Segunda Parte, Acto V, Escena Final, 1832.

Introducción

Tradicionalmente, en filosofía de la ciencia, las metáforas se han considerado recursos heurísticos desprovistos de valor epistémico. No obstante, a lo largo de la historia, las metáforas, han sido parte integral de las prácticas científicas, esto plantea la siguiente pregunta: ¿Cuál es entonces su papel en las prácticas científicas? Responder a esta pregunta no es sencillo, pues la respuesta variará según los supuestos epistemológicos que se tengan. Por ejemplo, en una filosofía de la ciencia centrada en las prácticas científicas (es decir, en habilidades, estructuras cognitivas, condiciones materiales, valores, normas que estructuran las prácticas, fines de las prácticas, etc.), las metáforas, vistas como estructuras cognitivas que coadyuvan a la producción de entendimiento¹, forman parte integral en el avance científico, lo cual sugiere que tienen un valor epistémico.

Desde finales del siglo pasado, han surgido distintos intentos por responder a esta pregunta, un ejemplo es el trabajo de Max Black (Black, 1977), quien veía a

¹ Utilizaremos la noción de entendimiento asociada a la propuesta epistemológica de Catherine Elgin (véase 2.1 y (C. Elgin, 2011)).

la metáfora como una interacción formada por dos “sujetos”², uno principal y uno subsidiario. Black inicialmente consideraba que la forma en que funciona el lenguaje metafórico es mediante asociaciones características del sujeto subsidiario al principal, por ejemplo, en la metáfora “El ADN es una cadena”, el sujeto principal es “ADN” y el sujeto subsidiario es “cadena”, la metáfora transfiere las asociaciones que hacemos cuando pensamos en una cadena al sujeto “ADN”. En trabajos posteriores, Black cambió su nomenclatura por “dominios” secundario y primario en lugar de sujetos y “proyección” en lugar de transferencia y esa es la nomenclatura que utilizaremos.

Unos años después, Mary Hesse (Hesse, 1988) propuso una teoría relacional del lenguaje en la que argumentó que la correcta interpretación de las metáforas involucra una reinterpretación radical de “lo cognitivo”, según Hesse, todo el lenguaje *natural* es metafórico. Bajo esta reinterpretación, las metáforas científicas no son sólo descriptivas, también pueden ser normativas, es decir, una explicación científica implica reinterpretar metafóricamente el *explanandum* en términos del *explanans*.

Un trabajo más reciente es el de Nancy J. Nersessian, quien, mediante un análisis histórico-cognitivo, se enfoca en identificar los momentos clave para la consolidación de las prácticas científicas (Kurz-Milcke et al., 2004). Sobre la misma línea, los autores Natalia Carrillo y Sergio Martínez analizan el papel de

² *subjects*

las metáforas en la construcción de productos científicos dentro de un contexto particular (Carrillo & Martínez, 2023).

Ahora bien, al igual que la metáfora, en una filosofía de la ciencia tradicional, no se considera que los valores estéticos tengan relevancia epistémica. Sin embargo, la reflexión en torno a la relación entre verdad y belleza ha sido una constante en la filosofía. En filosofía de la ciencia, por ejemplo, distintos autores han explorado el papel de los valores estéticos en la ciencia, a través de la representación trabajos como *Scientific Representation* (Fraassen & C, 2008) y el libro colaborativo *From Beyond Mimesis and Convention: Representation in Art and Science* (Frigg & Hunter, 2010) abrieron la puerta a la conversación sobre similitudes entre obras de arte y productos científicos desde distintas perspectivas.

Catherine Elgin, por ejemplo, define a los valores estéticos como *epistemic gatekeepers* (C. Elgin, 2020), concepto que hemos traducido como “guías epistémicas”. Con este término, Elgin describe cómo valores estéticos, como la simetría y la sistematicidad, conducen el progreso científico. de una disciplina Por otro lado, Milena Ivanova postula tres niveles en los que se pueden encontrar valores estéticos en la ciencia: objetos, productos y procesos. Asimismo, propone seis categorías para estudiar la belleza de los experimentos, que forman parte de los procesos científicos (Ivanova, 2023a).

En esta tesis nos enfocaremos en mostrar cómo los valores estéticos muchas veces contribuyen al entendimiento científico a través del uso de metáforas. Para lograr nuestro objetivo principal nos planteamos dos objetivos secundarios: 1) Argumentar, con ayuda de la Teoría de la Metáfora Conceptual, que una de las

maneras en que se manifiestan los valores estéticos en ciencia es mediante las metáforas y que ambos pueden ser clave para la articulación de narrativas.

Para cumplir con nuestro primer objetivo, haremos uso de la definición de valores estéticos de Elgin como guías epistémicas (C. Elgin, 2020; Ivanova, 2023a). Además, argumentaremos que estos valores estéticos se instancian o corporeizan en productos científicos. Dichos productos avanzan el entendimiento científico de una disciplina, este entendimiento es reevaluado dentro de la comunidad científica, dando inicio a un nuevo ciclo.

Con el propósito de abordar nuestro segundo objetivo, proponemos, desde el enfoque de la Teoría de la Metáfora Conceptual, que una metáfora científica exitosa es aquella que produce entendimiento. Finalmente, para enlazar los argumentos desarrollados a lo largo de la tesis, analizaremos el caso de la *doble hélice*, una conocida metáfora científica exitosa, que fue vital para el desarrollo del “experimento más bello de la biología”, el experimento de Meselson-Stahl (Ivanova, 2023a, 2023b)

1 Valores estéticos y su estatus epistémico

El propósito de este capítulo es argumentar que los valores estéticos desempeñan un papel en el entendimiento, a saber, guían las prácticas científicas. Con este fin en mente, dividiremos el capítulo en dos partes: 1) Presentaremos el argumento a favor de una filosofía de la ciencia centrada en prácticas de los autores Sergio Martínez y Xiang Huang y 2) Argumentaremos que valores tradicionalmente considerados estéticos, como la simetría y la sistematicidad, desempeñan un papel epistémico. En concreto, estos valores actúan como directrices para la comunidad científica, orientando el progreso de la investigación.

Ahora bien, Elgin propone que los valores estéticos son guías epistémicas establecidas por las comunidades científicas que guían la dirección de las investigaciones (C. Elgin, 2020).³ La propuesta de valores estéticos como guías epistémicas se sustenta en la propuesta epistemológica de Elgin, con la cual coincidimos, que considera al entendimiento como el valor cognitivo preferible

³ Por ejemplo, la simetría es un valor estético crucial en la Física contemporánea, especialmente en el ámbito de la física de partículas, como se evidencia en teorías como la supersimetría. En términos de la propuesta de Elgin, este ejemplo sería una “instancia reveladora”, es decir, un ejemplo que destaca y aclara un aspecto importante de una teoría o concepto. La capacidad de proporcionar esta clase de ejemplos para Elgin es prueba de que el sujeto posee entendimiento (véase 1.2 y (C. Elgin, 2010).)

sobre el conocimiento (C. Elgin, 1996, 2011). De acuerdo con la autora, el entendimiento se concibe como un cuerpo de compromisos epistémicos coherentes, además es parte de los recursos cognitivos (no reductibles a relaciones formales) que regulan a las prácticas científicas. Estas ideas serán desarrolladas con mayor detenimiento a lo largo de la sección 1.2.

1.1 Una filosofía de la ciencia centrada en prácticas científicas

Tradicionalmente, en la filosofía de la ciencia el énfasis se pone sobre el conocimiento teórico; bajo esta visión, se sostiene que la estructura normativa de la ciencia coincide con la estructura de relación entre evidencia y teoría. En otras palabras, la ciencia se reduce a un conjunto de enunciados sistematizable en algún lenguaje privilegiado. Esta visión de la ciencia no nos permite dar cuenta de algunos de los aspectos que han problemas importantes discutidos en la filosofía de la ciencia a lo largo del siglo xx —y las primeras décadas del xxi— como lo son la unidad de la ciencia y el cambio científico (Martínez & Huang, 2015, p. 43). Si bien una filosofía centrada en prácticas no resuelve estos problemas, sí nos permite utilizar a las prácticas científicas como recursos explicativos para modelar los procesos epistémicos de las investigaciones científicas.

Ahora bien, una de las formas en que los empiristas lógicos promovieron la idea de que la estructura normativa de la ciencia debía coincidir con la relación entre evidencia y teoría fue mediante la distinción entre contexto de descubrimiento y contexto de justificación. La distinción entre el contexto de descubrimiento y el contexto de justificación separa el proceso de generación de nuevas hipótesis

científicas (contexto de descubrimiento) del proceso de evaluación y validación de dichas hipótesis (contexto de justificación). El primero abarca aspectos psicológicos e históricos y no sigue reglas estrictas, mientras que el segundo emplea métodos científicos rigurosos y se basa en criterios de objetividad y verificabilidad. Según la clasificación del empirismo lógico, las prácticas científicas pertenecen al contexto de descubrimiento; no se consideran epistémicamente relevantes para justificar el conocimiento científico. En contraste, Martínez y Huang nos presentan la siguiente reconstrucción del argumento de la irrelevancia de las prácticas científicas (AIP):

A La filosofía de la ciencia da cuenta, de manera primordial, de la estructura normativa epistémica que permite explicar la ciencia como el avance del conocimiento guiado por criterios racionales.

B Esta estructura normativa epistémica puede reducirse a normas que nos permiten juzgar de manera objetiva y racional la relación que hay entre ciertos datos considerados evidencia, y una teoría. Carnap pensaba que estas normas eran formulables en términos de la lógica y las matemáticas, pero más en general, la premisa es que toda relación evidencia-teoría es representable formalmente como una relación que puede evaluarse con independencia del contexto.

C Las prácticas involucran una serie de factores y normas que no son modelables como relaciones entre evidencia y teoría, ni son, en los aspectos pertinentes, modelables formalmente.

Conclusión: las prácticas no pueden ser recursos explicativos en la filosofía de la ciencia, esto es, son irrelevantes para una explicación filosófica de la racionalidad y la epistemología científica. (Martínez & Huang, 2015, p. 45)

Los autores consideran C un hecho no controvertido y buscan refutar la conclusión manteniendo A y rechazando B⁴. La estrategia de los autores al sostener A es mantener un realismo respecto de la estructura normativa que explica la generación del conocimiento científico. Por otro lado, al negar B, como estas normas ya no son reducibles a normas formulables, nace la necesidad de justificarlas de otra forma, es decir, surge la necesidad de una nueva noción de racionalidad. Ante esta necesidad, la filosofía de la ciencia centrada en prácticas propone una racionalidad de la ciencia corporizada en las prácticas mismas.

Asimismo, las prácticas científicas se suelen incorporar en las agendas de investigación, las cuales definen prioridades y ordenan objetivos; por ejemplo, cómo se aborda un problema y también el aspecto material de la investigación, como el ordenamiento de equipo y trato con instituciones. Además, una práctica científica también implica y fomenta estándares epistémicos —al igual que tecnológicos y éticos— los cuales son fundamentales en la forma en que la ciencia comparte el conocimiento.

Hay circularidad en este proceso, pero no es una circularidad “viciosa”, al contrario, se trata un sistema que se retroalimenta; donde las prácticas científicas

⁴ Martínez y Huang siguen el ejemplo de los autores Otto Neurath, Ludwik Fleck y Michael Polanyi, cuyos argumentos “están en favor de que hay algo más que las normas formalmente expresables de la relación entre evidencia y teoría, que pueden y deben ser tomadas como recursos explicativos para modelar la epistemología del conocimiento científico”.

están incorporadas en las agendas y estas a su vez ordenan a las agendas científicas. Mediante este ciclo, dichas prácticas pueden ser recursos explicativos en la filosofía de la ciencia porque la estructura normativa de la ciencia se determina en las agendas científicas y, a su vez, estas dependen de las prácticas. La naturaleza cíclica de este proceso contribuye a que las normas se corporicen en las prácticas. Martínez y Huang nos dan cinco características que componen a una práctica:

- 1) Habilidades y, más en general, capacidades humanas que pueden dirigirse al aprendizaje de diferentes tipos de prácticas⁵.
- 2) Estructuras cognitivas propias de los seres humanos que subyacen en las habilidades y capacidades que entran en el aprendizaje y mantenimiento de los estándares de una práctica.
- 3) Materiales que median la integración de capacidades y estructuras cognitivas a través de un proceso de aprendizaje.
- 4) Diferentes valores y normas que cumplen un papel en la estabilización y en la integración de la práctica en un contexto normativo más amplio.
- 5) Los fines de la práctica, que no son otra cosa que una manera coherente y sucinta de expresar la estructura normativa de la práctica como un todo, y que por lo tanto permiten identificar aquellos elementos de la práctica que,

⁵ En su texto *Towards a New Aesthetics of Science: Aesthetic Cultures and the Processes and Objects of Regard* Curry hace un análisis sobre las técnicas aprendidas en la práctica utilizando como caso de estudio reconstrucción de fósiles (Currie, 2023).

respecto de sus fines, requieran modificación o cambio sin que por ello la práctica pierda su identidad. (Martínez & Huang, 2015, p. 95)

Nuestra propuesta en los siguientes capítulos es mostrar que algunos valores estéticos pueden funcionar como «las normas que cumplen un papel en la estabilización e integración del conocimiento». En primer lugar, desempeñan el papel de guías epistémicas a lo largo del proceso de emergencia de productos científicos — i. e. modelos, teorías, experimentos— (véase 1.2). En segundo lugar, se consolidan en al materializarse en dichos productos científicos productos (véase 2.1). Finalmente, estos productos pasan por una reevaluación por parte de la comunidad científica, dando inicio a un nuevo ciclo.

1.2 Valores estéticos como guías epistémicas

En una filosofía de la ciencia centrada en prácticas, como la que expusimos anteriormente, podemos argumentar que algunos valores canónicamente considerados como estéticos contribuyen al entendimiento. Esta contribución la entendemos en forma de guías epistémicas. En términos de la filosofía centrada en prácticas que presentamos: Algunos valores estéticos pueden funcionar como las normas que cumplen un papel en la estabilización e integración del conocimiento y se corporizan en productos científicos.

Por otro lado, bajo un enfoque tradicional de la filosofía de la ciencia, por ejemplo, el realista, el objetivo de la ciencia es la verdad, en consecuencia, los valores

estéticos son útiles en la medida en que nos acerquen a esta⁶. Elgin señala el error en la postura tradicional, a saber, atribuir un papel ornamental o instrumental a los valores estéticos, señalando que existen teorías que son simultáneamente consideradas falsas y bellas:

Muchas teorías manifiestamente falsas son hermosas. La biología aristotélica, por ejemplo, trata a las especies como algo fijo: cada especie tiene su propia esencia, su propia función adecuada y su propio *telos* distintivo, que a la vez determina el bien para sus miembros y explica su comportamiento. Además, los científicos pueden seguir considerando bello un relato incluso después de haberlo rechazado de forma decisiva. (C. Elgin, 2020)⁷

En otras palabras, no es cierto que los valores estéticos estén presentes en la ciencia sólo en la medida en que nos acerquen a la verdad, de ahí que la biología aristotélica sea simultáneamente falsa y bella. Ante las propuestas realista e instrumentalista⁸,

⁶ Nuestra propuesta no es que todo valor estético es un valor epistémico; tal afirmación establecería una identidad entre lo bello y el conocimiento. Esta perspectiva abre la puerta a una discusión más amplia que la nuestra; sin embargo, aquí nos centramos en una relación más acotada entre los valores estéticos y epistémicos: algunos actúan como guías epistémicas en la ciencia.

⁷ *Many manifestly false theories are beautiful. Aristotelian biology, for example, treats species as fixed: each species has its own essence, its own proper function, and its own distinctive telos, which both determines the good for its members and explains their behavior. Moreover, scientists may continue to consider an account beautiful even after it has been decisively rejected.*

⁸ Un argumento análogo al expuesto para el caso realista puede hacerse para el instrumentalismo, donde los valores estéticos se consideran epistémicamente legítimos siempre que se muestren como útiles (C. Elgin, 2020).

Elgin propone una alternativa que se sustenta en su propuesta epistemológica del entendimiento como una construcción holística. En esta propuesta se concibe el entendimiento como un cuerpo de compromisos coherentes⁹; por lo tanto, no es algo que se pueda obtener exclusivamente a partir de conjuntos de proposiciones: «Basándome en mi trabajo anterior, sostengo que el entendimiento de un tema consiste en aceptar un sistema de compromisos en equilibrio reflexivo». (C. Elgin, 2017).

Desde la perspectiva de una filosofía centrada en prácticas, en el sistema de compromisos al que alude Elgin, llegar a un equilibrio reflexivo¹⁰ involucra, entre otras cosas, acuerdos, habilidades y comunidad. Esta lista puede incluir también a los valores estéticos que han guiado el aprendizaje y la comunicación de esas habilidades en el contexto de prácticas específicas.

Elgin busca distinguir su propuesta epistemológica de la de Nelson Goodman, pues el equilibrio reflexivo, como lo propone Goodman, es restringido;

⁹ La coherencia se refiere a la armonía de un sistema, es decir, que sus componentes no entren en conflicto. Un sistema no puede ser coherente sin ser consistente. Por ejemplo 1) Todos los mamíferos tienen glándulas mamarias, 2) Ningún mamífero pone huevos. 1) y 2) no generan ninguna contradicción y forman un sistema congruente. Para que fuera incoherente, tendríamos que añadir 3) Algún mamífero pone huevos. Que contradice 2).

¹⁰ El equilibrio reflexivo es una respuesta al problema de la inducción: Buscamos minimizar la incertidumbre asociada con la inducción y mejorar la solidez de nuestro conocimiento a través de una evaluación continua y crítica de nuestras creencias a la luz de nueva evidencia y experiencias.

en cambio, la autora lo piensa como amplio (C. Elgin, 1996), es decir, dentro de la propuesta de Elgin es posible incorporar no sólo elementos lógicos, como ya lo era en la de Goodman, sino también otro tipo de criterios, como valores morales y emociones, lo cual deja abierta la posibilidad a la incorporación de valores estéticos (C. Elgin, 2020; C. Z. Elgin, 2002).

Dentro de esta propuesta epistemológica, existe un criterio normativo para determinar cuándo hay entendimiento de un fenómeno: la capacidad de proporcionar ejemplos (C. Elgin, 2017). Para Elgin, la actividad cognitiva involucrada en la búsqueda de un ejemplo es instanciar, es decir, la creación mental de un concepto o categoría; proporcionar un ejemplo involucra elegir la instancia adecuada, en otras palabras, un ejemplo es una instancia reveladora.

En varios de sus textos (C. Elgin, 1996, 2011, 2017), Elgin ilustra la idea del ejemplar como instancia reveladora con los ejemplos de un retazo de tela o una muestra comercial de pintura que ejemplifica el color cuando vamos a comprar tela o pintura:

Para tomar un ejemplo de la vida ordinaria, una muestra comercial de pintura es un fragmento de un color preciso. Sorprendentemente, es una ficción. La mancha de color en la tarjeta no es un pedazo de pintura, sino que es una tinta o un colorante del mismo color que el color que la pintura que representa. La ficción de que constituye una mancha de pintura ofrece acceso epistémico a un hecho el color de la pintura que la mancha representa—. No toda la pintura que corresponda a esa muestra tiene el mismo matiz. (C. Elgin, 2011)

Según Elgin, los experimentos y modelos científicos son vehículos de ejemplificación, pues no replican (mimetizan) los fenómenos naturales, sino que seleccionan y manipulan elementos para resaltar únicamente aquellas características que resultan de interés. Además, así como la mancha de pintura constituye una ficción, los modelos científicos son una ficción; sin embargo, a pesar de los mantenemos dentro de nuestros compromisos epistémicos porque, al igual que la mancha de pintura brinda acceso epistémico al color, los modelos brindan acceso epistémico a aquello que modelan¹¹:

Debido a que los modelos dependen de la ejemplificación, son selectivos. Un modelo hace manifiestas algunas características de su objetivo al eclipsar o ignorar otras. Por lo tanto, diferentes modelos del mismo objetivo pueden hacer manifiestas distintas características. Cuando se considera que los modelos son espejos, esto parece problemático. Es difícil ver cómo el núcleo de un átomo podría reflejarse sin distorsión como una gota y con la estructura de una concha. Dado que un objeto material no puede ser simultáneamente tanto fluido como sólido, podría parecer que hay algo mal en nuestra comprensión del dominio si ambos modelos son admisibles.
(C. Elgin, 2010)

De manera análoga, si un valor estético forma parte integral de la red de compromisos epistémicos en equilibrio reflexivo que componen una teoría, la simetría en física de partículas, por ejemplo, eliminarlo no es trivial; en física de

¹¹ En una tónica similar, a lo largo de la obra de Nancy Cartwright (Cartwright, 1983, 2010), podemos encontrar una extensa reflexión sobre el estatus de los modelos y teorías científicas como ficciones y las convenciones que hacemos respecto.

partículas, la simetría es considerada uno de los criterios de valoración y normas establecidas más importantes para la expansión del Modelo Estándar, es un valor inherente a la teoría. Es de esta manera como mantenemos los valores estéticos en nuestras teorías, porque sin ellos no podríamos entender los fenómenos que buscamos explicar (C. Elgin, 2020). Hasta aquí se sostiene el estatus de los valores estéticos como valores epistémicos, siempre que formen parte integral de una red de compromisos epistémicos; sin embargo, es necesario esclarecer su papel como guías epistémicas en las prácticas científicas.

Elgin afirma que no podemos hablar del papel de *lo estético* en ciencia de forma general, pero basta con identificar algunos “factores comunes” juzgados como estéticos y analizar qué aportan a la labor científica para investigar cuál es su estatus epistémico (C. Elgin, 2020). La autora centra su análisis en las propiedades formales de artefactos científicos, como teorías, modelos y experimentos y propone para su análisis los siguientes valores: simetría, simplicidad, sistematicidad y elegancia.

El equilibrio reflexivo, nos permite incorporar elementos a nuestros compromisos epistémicos sin que la incertidumbre de la inducción se vuelva un problema insalvable. Así, cuando una y otra vez observamos que la simetría o la sistematicidad son propiedades de teorías y modelos que nos han dado resultados positivos, es esperable que los consideremos parte de nuestra red de compromisos epistémicos. En otras palabras, una vez incorporados a las prácticas

científicas, estos valores estéticos se convierten en condición de posibilidad para el avance del entendimiento científico:

Los científicos buscan la simetría, favorecen la simplicidad, luchan por la sistematicidad y aprecian la elegancia. He insistido en que la simetría, la simplicidad, la sistematicidad y la elegancia son propiedades estéticas, pero aún no he dicho mucho sobre cómo contribuyen a la comprensión científica. Ya se ha insinuado una contribución. Las desviaciones de los ideales de simetría, simplicidad y sistematicidad exigen una explicación. Plantean un problema que debe abordarse. La conformidad con los ideales no necesita explicación.¹² (C. Elgin, 2020)

Nos gustan los modelos uniformes, las teorías sistemáticas, los experimentos elegantes, etcétera y asociamos estos valores con resultados previamente obtenidos. A partir de ahora, *sabremos*¹³ que algo está mal cuando aparezca, por ejemplo, una asimetría, entonces se convertirá en una invitación a investigar las causas de dicha

¹² *Scientists seek symmetry; they favor simplicity; they strive for systematicity; they appreciate elegance. I've urged that symmetry, simplicity, systematicity, and elegance are aesthetic properties, but I haven't yet said much about how they contribute to scientific understanding. One contribution has already been hinted at. Deviations from the ideals of symmetry, simplicity, and systematicity demand explanation. They pose a problem that ought to be addressed. Conformity to the ideals needs no explanation.*

¹³ Nos referimos a la certeza respaldada por la inducción. No afirmamos que *la belleza* nos conduce a *la verdad*.

anomalía. En este sentido decimos que los valores estéticos guían las prácticas científicas.

2 Valores estéticos corporizados en prácticas

El propósito de este capítulo es exponer la materialización de los valores estéticos en las prácticas científicas, en particular nos centraremos en el caso de los experimentos. Nuestra propuesta es que una vez que cumplen la función de guías epistémicas (véase 1.2), estos valores se materializan en productos científicos (i.e. modelos, experimentos, teorías) cuyos resultados son evaluados por la comunidad científica, dando inicio a un nuevo ciclo. Recordemos que este es un proceso circular (véase 1.1) donde los resultados de las prácticas son evaluados por la comunidad científica e influyen en los estándares de la agenda científica.

2.1 La belleza en los experimentos

En su texto *A Plea for the Sublime in Science*, Margherita Arcangeli y Jérôme Dokic introducen una clasificación que sugiere la presencia de valores estéticos en la ciencia en tres niveles:

- i. Los objetos de la investigación científica (como células, mesones y números) pueden instanciar valores estéticos.
- ii. Los productos de la ciencia (como teorías, conjeturas y modelos) pueden instanciar valores estéticos.
- iii. La práctica científica (como la construcción y evaluación de teorías y el diseño de experimentos) puede guiarse por experiencias y juicios estéticos. (Arcangeli & Dokic, 2020)

Para estos autores la relación entre los dos primeros niveles se da de manera natural, puede permanecer en el ámbito de la estética, y es sencilla de explicar: Dado que los

objetos de estudio en las investigaciones científicas suelen ser conceptos teóricos, las teorías correspondientes pueden adquirir características estéticas, como la simetría, la simplicidad, el orden y la coherencia correspondientes a la porciones de realidad a las que refieren.

Un posible argumento para explicar la presencia de valores estéticos en el nivel de las prácticas es que, de alguna manera, estas heredan propiedades estéticas de los dos primeros niveles. Sin embargo, este argumento requiere compromisos ontológicos, como una relación de complementariedad; por ejemplo, según Platón, la verdad no puede darse sin la belleza¹⁴. Aunque interesante, esta discusión se centra en las teorías y no en las prácticas; por lo tanto, utilizaremos una aproximación distinta para explicar la presencia de valores estéticos en el nivel de las prácticas.

Milena Ivanova hace un análisis similar sobre la presencia de valores estéticos en ciencia y propone, al igual que Arcangeli y Dokik, tres niveles: objetos, productos y procesos. Dentro de los procesos coloca a los experimentos. Paralelamente, propone seis categorías mediante las que podemos analizar la belleza de un experimento: objeto de estudio, instrumentos, diseño experimental, proceso creativo, significación y *performance* (Ivanova, 2023a). Por ejemplo, que un experimento correctamente estructurado y con un propósito definido, al conectar

¹⁴ Para Platón, la búsqueda de la verdad implica una búsqueda simultánea de la belleza, ya que la contemplación y comprensión de las Ideas eternas y perfectas conducen al conocimiento verdadero.

diseño, significado y creatividad, genera respuestas estéticas en quienes interactúan con él.

Las respuestas estéticas a las que se refiere Ivanova están correlacionadas con la evaluación intelectual del experimento, propone entonces la distinción entre dos tipos de belleza, una sensorial y otra intelectual, según esta propuesta, este segundo tipo de belleza es la que experimentamos al comprender el significado del experimento¹⁵ (Ivanova, 2023a).

Ahora bien, los dos distintos tipos de belleza propuestos por Ivanova nos permiten estudiar ambos fenómenos —percepción y evaluación intelectual— por separado. Sin embargo, nosotros no creemos que estos fenómenos ocurran de forma independiente uno del otro. Nuestra hipótesis es que los valores estéticos involucrados en las prácticas científicas se materializan en los experimentos, generando experiencias estéticas. Estas experiencias son esenciales para el entendimiento, ya que integran tanto las experiencias corpóreas como la evaluación intelectual. Aunque es posible separar analíticamente la percepción y la evaluación intelectual, en realidad están interconectadas. A continuación, ilustraremos nuestro argumento con un ejemplo.

¹⁵ La belleza intelectual propuesta por Ivanova puede compararse con la "belleza funcional" descrita por Claire Anscomb (Anscomb, 2023). Anscomb sugiere que la belleza funcional se manifiesta cuando un objeto o diseño no sólo es estéticamente agradable, sino que también cumple eficazmente su función. Este tipo de belleza, que combina estética y funcionalidad, puede aplicarse tanto a obras de arte como a experimentos.

2.1.2 El Péndulo de Foucault

En 1851 el físico francés Léon Foucault, hizo la demostración de su experimento insignia en el interior del Panteón de París. El objetivo del experimento era demostrar un hecho largamente disputado: la rotación de la Tierra sobre su eje. Foucault colgó una pesada esfera de latón de una larga cuerda fija en el interior de la cúpula del Panteón. Bajo el péndulo, colocó arena y luego lo puso en movimiento. Después de un largo período de tiempo, el experimento reveló que las marcas en la arena no estaban alineadas, demostrando la rotación de la Tierra debajo del péndulo.



Ilustración 1 Arnaud 25, (2008). Pendule de Foucault du Panthéon de Paris.
<https://acortar.link/OnD0Bk>

Ahora bien, un elemento que desempeña un papel importante en la experiencia estética involucrada en este experimento es el *entorno* en el que se llevó a cabo. La

“puesta en escena” se encontraba dentro de uno de los edificios más bellos de París y se trataba de una escultura cinética con un hipnotizante ir y venir. En particular, en un experimento como este, podríamos complementar nuestro análisis con lo que Gernot Böhme denomina “atmósferas”, esto es, la forma en que los espacios y los objetos contenidos en este influyen en las sensaciones de los sujetos y producen un estado emocional (Böhme, 2017). Esta herramienta nos permitiría realizar un análisis de corte fenomenológico de la dimensión performativa del experimento.

La relación entre diseño y significado —incluimos aquí el espacio donde se llevó a cabo el experimento— sugiere un tipo de belleza distinta a la sensorial, una belleza intelectual, que se devela una vez que nos comprometemos sistemáticamente con el experimento, que entra en juego cuando comprendemos su funcionamiento y objetivo, es una forma de relacionarnos con el experimento que va más allá de los sentidos.

Ahora bien, “más allá de los sentidos” es un término extenso, abarca más que el juicio intelectual y la experiencia estética, también puede incluir a las emociones. Ante un experimento como el Péndulo de Foucault, se produce un efecto de asombro; nos encontramos en presencia de lo sublime. Mientras que la experiencia estética suele asociarse con sensaciones positivas, la experiencia de lo sublime puede generar sensaciones desagradables que, no obstante, producen interés y motivan la investigación (Arcangeli & Dokic, 2020). El contacto con lo sublime, que facilita el experimento, es un ejemplo de una reacción emocional que nos lleva hacia una necesidad de saber más sobre el fenómeno, el experimento y el funcionamiento de

este. Esto indica que tanto la experiencia estética como la reacción emocional tienen relevancia epistémica.

La comprensión (o entendimiento) del experimento es un proceso perceptual e intelectual; no es suficiente el análisis formal¹⁶. Debemos también poner énfasis en la materialidad del experimento y el sujeto, así como en la relación entre estos. Al poner el énfasis en esta última, reconocemos la dimensión performativa del experimento. Con esto queremos decir que la percepción es parte del proceso cognitivo al que nos referimos como entendimiento: En la interacción con el experimento, la evaluación intelectual se fusiona con la experiencia estética.

Anteriormente propusimos el papel que desempeñan los valores estéticos en el ciclo mediante el que se retroalimentan las agendas y prácticas científicas: Desempeñan el papel de guías epistémicas en las prácticas científicas, por otro, se materializan (o instancian) en los productos científicos, por ejemplo, en los experimentos a través de su diseño. En el caso del Péndulo de Foucault, nos encontramos ante un experimento cuyo diseño provoca emociones en su audiencia y cuyos resultados proporcionaron la prueba empírica necesaria para zanjar una discusión importante de la época. La combinación de estos elementos da como resultado un experimento estético y epistémicamente relevante. Más aún, la experiencia estética fue una condición necesaria para la relevancia epistémica de este experimento.

¹⁶ Lo mismo puede decirse del entendimiento en general.

3 Valores estéticos articulados en metáforas

Aunque tradicionalmente las metáforas —al igual que los valores estéticos— se han considerado desprovistas de valor epistémico, es decir, que no producen entendimiento. Nosotros adoptamos un enfoque que reconoce su relevancia cognitiva y su capacidad para generar entendimiento, a saber, la Teoría de la Metáfora Conceptual. Además, sostenemos que una de las maneras en las que los valores estéticos se manifiestan en la ciencia es a través de las metáforas, especialmente en el caso de aquellas que también funcionan como modelos científicos.

En este capítulo mostraremos cómo, en ciertos contextos epistémicos, los valores estéticos pueden contribuir al entendimiento científico mediante la articulación de metáforas científicas. Para consolidar las ideas desarrolladas a lo largo de esta tesis, concluiremos con un ejemplo: la metáfora de la doble hélice del ADN, que es un modelo que describe la estructura del ADN, y su relación con el que se ha denominado el “experimento más bello de la biología”, el experimento de Meselso-Stahl que comprobó el método de replicación del ADN.

3.1 Aproximaciones lingüística y lingüístico-cognitiva a la metáfora

Tradicionalmente, se considera que las metáforas son herramientas lingüísticas. En contraste, George Lakoff y Mark Johnson desarrollaron una nueva propuesta

conocida como “enfoque lingüístico-cognitivo de la metáfora” (*cognitive linguistic view of metaphor*) en su estudio seminal *Metaphors we Live By*. En esta propuesta plantean la caracterización de las metáforas establecida por el enfoque lingüístico. A continuación, proporcionamos una tabla comparativa con las características de las metáforas según ambos enfoques¹⁷:

Cuadro 1: Caracterización establecida por los enfoques lingüístico y cognitivo		
Característica	Enfoque lingüístico	Enfoque lingüístico-cognitivo
Es una propiedad de	Es una propiedad de las palabras.	Es una propiedad de los conceptos y no de las palabras.
Se utiliza para	Se utiliza para propósitos estilísticos.	Su función es coadyuvar a la comprensión de conceptos.
Se basa en	Se basa en la semejanza (<i>resemblance</i>).	No siempre se basa en la similaridad (<i>similarity</i>). La metáfora se utiliza sin esfuerzo y de

¹⁷ El contenido de la tabla se puede encontrar desarrollado con más detalle en *Metaphor: A Practical Introduction* de Zoltan Kövecses (Kövecses, 2002).

		manera cotidiana por gente ordinaria.
Es un acto del tipo	Utilizar una metáfora es un acto consciente y deliberado. Además, se requiere talento literario para saber utilizarla.	La metáfora se utiliza sin esfuerzo y de manera cotidiana por gente ordinaria.
Tipo de objeto	Es una figura retórica de la que podemos prescindir. No forma de la comunicación humana cotidiana, y mucho menos del pensamiento y razonamiento cotidianos.	La metáfora, lejos de ser un adorno lingüístico superfluo, es un proceso inherente al pensamiento y el razonamiento humanos.

Lakoff y Johnson lograron mostrar la ubicuidad¹⁸ de las metáforas tanto en el lenguaje cotidiano como en el pensamiento. Mostraron la presencia de metáforas “atrincheradas” en el habla cotidiana, es decir, aquellas que, a través del uso cotidiano, se convirtieron en parte del habla convencional y perdieron su carga metafórica. A estas metáforas se les conoce como “metáforas muertas” (Black, 1977; Kovecses, 2010). Sin embargo, algunos autores rechazan hablar de metáforas

¹⁸ *pervasiveness*

muertas¹⁹ porque no dan cuenta de un aspecto importante del atrincheramiento de metáforas, a saber, que son estas las que están más presentes —de forma natural, activa y sin esfuerzo— en nuestra forma de percibir y entender el mundo: son las *metáforas mediante las que vivimos*²⁰.

Con el trabajo de George Lakoff y Mark Johnson comenzó una nueva forma de ver a las metáforas, la Teoría Conceptual de la Metáfora. Esta teoría postula que la metáfora no es solo una figura retórica, sino un proceso cognitivo fundamental mediante el cual conceptualizamos experiencias en términos de otras, al proyectar estructuras de dominios sensoriales concretos en dominios abstractos. Estas metáforas no sólo influyen en el lenguaje, sino que también impactan en cómo percibimos, pensamos y razonamos sobre la realidad. A través de este proceso construimos significados y moldeamos nuestra comprensión del mundo. Posteriormente (véase 3.2 y (Kövecses, 2017)) explicaremos con más detalle qué significa que una metáfora sea conceptual y el proceso por medio del cual el cual las metáforas moldean nuestra comprensión del mundo.

¹⁹ Black, por ejemplo, hace notar que hablar de una metáfora atrincherada como una metáfora muerta es como hablar de un cadáver como un caso particular de una persona (Black citado en (Gibbs, 2009))

²⁰ *metaphors we live by*

3.2 Teoría Conceptual de la Metáfora

Según la teoría desarrollada por Lakoff y Johnson, la metáfora es de naturaleza conceptual. Desde este punto de vista, la metáfora deja de ser sólo un recurso de la imaginación literaria creativa para convertirse en una herramienta cognitiva sin la cual no podríamos comunicarnos (Kovecses, 2010). A partir de ahora, nos referiremos a esta teoría como la Teoría Conceptual de la Metáfora (CMT) y adoptaremos la nomenclatura tradicional de la CMT para distinguir entre metáforas lingüísticas y conceptuales. Las primeras se escribirán en itálicas minúsculas, mientras que las segundas se escribirán en mayúsculas. Por ejemplo: la metáfora lingüística presente en el enunciado *He gastado mucho tiempo hoy* se encuentra enraizada en la metáfora conceptual EL TIEMPO ES UN RECURSO²¹.

Ahora bien, la CMT se distingue del enfoque lingüístico tradicional, entre otras cosas, por ser una teoría que creó consenso entre lingüistas y psicólogos sobre el fenómeno de la metáfora; la interdisciplinariedad de la CMT amplía su alcance y capacidad para explicar la metáfora desde múltiples perspectivas. Conjuntamente, y este es un aspecto que nos interesa particularmente, Lakoff propone una nueva perspectiva que sugiere que tanto el lenguaje como el pensamiento metafórico tienen su origen en la experiencia

²¹ La relación entre ambos tipos de metáforas la iremos explicando a lo largo de la sección, este es sólo un ejemplo para mostrar cómo funciona la nomenclatura.

sensoriomotora de los seres humanos, es decir, que la cognición está corporizada (Kövecses, 2017; Lakoff & Johnson, 1981).

Anteriormente mencionamos que, según la teoría de Lakoff y Johnson, la metáfora es de naturaleza conceptual, ahora explicaremos qué significa esto. Consideremos las siguientes metáforas:

Él se encuentra *sin dirección en la vida*.

Estoy *donde quiero estar* en la vida.

Me encuentro *en una encrucijada* en mi vida.

Ella *llegará lejos* en la vida. (*She'll go places in life.*)

Él nunca ha permitido que *nadie se atravesase en su camino*.

Ella *ha atravesado por mucho a lo largo de su vida*. (*She's gone through a lot in life.*)

Estas metáforas reflejan cómo los hablantes expresan sus ideas sobre de la vida²². Según la CMT, algunas metáforas lingüísticas revelan metáforas conceptuales subyacentes; en el caso de las que utilizamos como ejemplo, la subyacente es LA

²² Kövecses analiza el caso de las metáforas en inglés. Una de las hipótesis de la CMT es que muchas metáforas conceptuales están presentes en otros idiomas; por lo tanto, consideramos que traducir las metáforas al español no afecta el argumento. En los casos en que no existe una traducción exacta para la metáfora lingüística, la metáfora original aparece entre paréntesis a un lado.

VIDA ES UN VIAJE. En la CMT una de las funciones de las metáforas es ayudar a articular y generar conceptos, comúnmente relacionando uno abstracto con uno más concreto (Kövecses, 2010; Kövecses, 2017; Martínez Muñoz, 2023). En este caso, comprendemos el concepto de VIDA en términos de VIAJE.

Podemos resumir lo que es una metáfora conceptual de la siguiente forma: Una metáfora conceptual consiste en comprender un aspecto abstracto de la experiencia (dominio objetivo) en términos de otro más concreto (dominio fuente). Algunas metáforas lingüísticas, como “*Me encuentro en una encrucijada en mi vida*”, revelan la existencia de metáforas conceptuales subyacentes, como en este caso, LA VIDA ES UN VIAJE.

Mediante la terminología que acabamos de introducir, podemos definir una metáfora conceptual de la siguiente forma: un conjunto sistemático de correspondencias o mapeos entre dos ámbitos de experiencia (Kövecses, 2017). Por “dominios de la experiencia” nos referimos a la experiencia corporal sensoriomotora que destacamos anteriormente. Para clarificar nuestra definición en función de mapeos, utilizaremos la metáfora EL AMOR ES UN VIAJE (Kövecses, 2002):

Mapeo de la metáfora EL AMOR ES UN VIAJE.	
Fuente: VIAJE	Objetivo: AMOR
Los viajeros	Los amantes
El vehículo	La relación afectiva (<i>the love relationship itself</i>)

El viaje	Eventos en la relación
La distancia cubierta	El progreso logrado
Los obstáculos encontrados	Las dificultades experimentadas
Decisiones sobre cuál camino tomar	Opciones sobre qué hacer (<i>choices about what to do</i>)
El destino del viaje	El objetivo/los objetivos de la relación

Podría parecer que el mapeo (las correspondencias entre dominios) siempre estuvo presente, es decir, que las relaciones afectivas tienen ciertas características y las personas eligieron la metáfora EL AMOR ES UN VIAJE para describirlas; sin embargo, según la CMT, esto no es así. Es la metáfora EL AMOR ES UN VIAJE la que causa que las personas se comporten en relación con las relaciones afectivas como si fueran un viaje. A este proceso, Kövecses lo llama “actuar metafórico” y argumenta que esta forma de experimentar el mundo genera a su vez una realidad metafórica:

Una consecuencia importante de la idea de que las metáforas son de naturaleza conceptual, es decir, que concebimos ciertas cosas de forma metafórica, es que, dado que nuestro sistema conceptual rige nuestra forma de actuar en el mundo, a menudo actuamos metafóricamente.

Cuando conceptualizamos metafóricamente un ámbito intangible o menos tangible como, y desde la perspectiva de, un ámbito más tangible, creamos una determinada realidad metafórica. Imaginamos la vida de una manera cuando pensamos en ella como un viaje (véase más arriba), y de otra cuando pensamos

en ella como una obra de teatro, tal y como se refleja en las famosas líneas de Shakespeare “Todo el mundo es un escenario y todos los hombres y mujeres son meros actores”. Las dos fuentes dan lugar a visiones muy distintas de la vida y, en este sentido, crean realidades muy diferentes (Kövecses, 2017).²³

Es importante aclarar que la CMT no afirma que todas las metáforas son conceptuales ni que a toda metáfora lingüística le corresponda una metáfora conceptual. Un ejemplo de una metáfora lingüística que no está enraizada en una metáfora conceptual es “*los párpados son vainas*” en el verso “*las suaves vainas de sus párpados*”; esta metáfora sólo tiene sentido dentro del poema *El hombre de Tollmund*. Lo que afirma la CMT es que detrás de la mayoría de las metáforas lingüísticas que utilizamos cotidianamente, subyacen metáforas conceptuales. Además, una de las funciones de estas metáforas es conceptualizar, y con ello ayudarnos a comprender, conceptos abstractos, y cumplen esta función mediante mapeos entre el dominio fuente y el dominio objetivo.

²³ *A major consequence of the idea that metaphors are conceptual in nature, i.e. that we conceive of certain things in metaphorical ways, is that, since our conceptual system governs how we act in the world, we often act metaphorically.*

When we conceptualize an intangible or less tangible domain metaphorically as, and from the perspective of, a more tangible domain, we create a certain metaphorical reality. We imagine life one way when we think of it as a journey (see above), and in another way when we think of it as a theatre play, as reflected in Shakespeare’s famous lines “All the world is a stage / and all men and women are merely players”. The two source domains result in very different views on life, and in this sense, they create very different realities.

3.2.1 Metáforas científicas exitosas

Recordemos la definición: una metáfora conceptual es un conjunto sistemático de correspondencias entre dos ámbitos de experiencia. Por ejemplo, entender que cuando alguien dice “se está acabando el tiempo” quiere comunicar que queda poco tiempo para terminar algo requiere entender la estructura subyacente EL TIEMPO ES UN RECURSO. Con esta definición en mente, proponemos que una metáfora exitosa es aquella que produce o facilita el entendimiento (véase la definición de entendimiento en 1.2 y (C. Elgin, 2011))

Ahora bien, el caso de las metáforas científicas es análogo. Cuando decimos “*el átomo es un sistema solar en pequeño*”, trazamos un mapeo entre las características del átomo y las del sistema solar, similar al que hicimos entre AMOR y VIAJE para la metáfora EL AMOR ES UN VIAJE. Una diferencia para la metáfora científica es que, habitualmente, el mapeo está constreñido por las propiedades físicas del dominio fuente y el propósito de explicarlo o describirlo, pues la metáfora no sería exitosa si no brindara entendimiento del dominio fuente. Para ilustrar nuestra hipótesis damos a continuación el mapeo entre los dominios ÁTOMO y SISTEMA SOLAR.

Cuadro 3: Mapeo de la metáfora el átomo es un sistema solar miniatura		
Característica	Átomo	Sistema solar
Estructura jerárquica	Electrones orbitando alrededor del núcleo	Planetas orbitando alrededor del Sol

órbitas	Electrones en órbitas elípticas	Planetas en órbitas elípticas
Estabilidad dinámica	Electrones en estados de energía estables	Planetas en órbitas estables
Centro gravitacional	Núcleo	Sol
Interacción física	Fuerza electromagnética entre electrones y núcleo	Fuerza gravitacional entre planetas y el Sol

Otra diferencia es que algunas metáforas científicas son modelos (Carrillo & Martínez, 2023) y como tales, son idealizaciones del fenómeno que intentan modelar, en lugar de ser simplemente un mapeo de correspondencias (véase 1.2 y (Cartwright, 2010; C. Elgin, 2017; Hesse, 2001). Es por su naturaleza ambigua, entre otras cosas, que una filosofía de la ciencia tradicional suele desconfiar del uso de metáforas en las ciencias y las considera simplemente recursos lingüísticos, o las relega al contexto del descubrimiento.

Sin embargo, en una epistemología cuyo valor cognitivo prevalente es el entendimiento, podemos interpretar esa ambigüedad como algo deseable. La ambigüedad puede desempeñar un papel crucial en el avance del desarrollo científico al actuar como generadora de posibles soluciones, así como en la regulación y diversificación de prácticas científicas (C. Z. Elgin, 2002; Martinez, 2023). Por consiguiente, las metáforas, como los valores estéticos, se encuentran

entre los recursos cognitivos, que no pueden reducirse únicamente a relaciones formales, y contribuyen al entendimiento (véase 1.1).

Según Elgin, las metáforas científicas cumplen diversas funciones: 1) nos permiten reconocer la pertenencia a clases normalmente olvidadas; 2) ponen de relieve las afinidades dentro de los dominios y entre ellos; 3) revelan nuevas vías de investigación que vale la pena explorar; y 4) aplicar un símbolo que nos permita designar la pertenencia a una clase hasta entonces no señalada²⁴. Mediante a estas funciones, Elgin concluye que La predicación metafórica constituye una forma auténtica de predicación, al igual que la verdad metafórica es una verdad auténtica (C. Z. Elgin, 2002).

En otras palabras, las metáforas científicas ayudan a comunicar ideas, conceptos o teorías que antes no se podían expresar. Permiten percibir nuevas conexiones y patrones, movilizan recursos cognitivos para mejorar el entendimiento y estimulan la creación de preguntas e hipótesis originales. Por ejemplo, la metáfora "*plasticidad cerebral*" en ciencias cognitivas explica la capacidad del cerebro para reorganizarse a sí mismo (propiedad que no es evidente) en términos de la capacidad de un material para cambiar de forma (algo más cercano).

²⁴ Al comparar estas funciones con las de la (CMT), notamos que coinciden en la función de ayudar a la comprensión de conceptos y que no están necesariamente ligadas a la similaridad. (véase table 1)

Más aún, se trata de una metáfora que facilita la construcción de una teoría sistemática. Mediante el mapeo entre las propiedades de un material plástico y el cerebro, la metáfora, divide la actividad cerebral en tres: Algunas cosas son rígidas. Están “programadas” y, por tanto, son inalterables por la formación o la experiencia. Otras son plásticas, la experiencia puede moldearlas para que adopten nuevas formas duraderas o, incluso, permanentes. Otras son elásticas, en el sentido que pueden ser moldeadas por la experiencia, pero los cambios que ésta provoca se invierten fácilmente. Esta metáfora no solo transmite información, sino que también influye en la forma en que percibimos y nos relacionamos con el mundo que nos rodea. Al concebir el cerebro como algo plástico, esta metáfora sugiere que el cerebro no está predefinido en su capacidad o funcionalidad, sino que puede ser moldeado y mejorado a través del esfuerzo, la práctica y la exposición a nuevas experiencias.

Podemos resumir nuestro argumento de la siguiente manera: a través de los modelos científicos, algunos de los cuales son metáforas, los científicos comunican realidades que antes no se podían expresar, permiten percibir nuevas conexiones y patrones, movilizan recursos cognitivos para mejorar el entendimiento. En el caso de *plasticidad cerebral*, esta metáfora comunica cómo el cerebro puede cambiar y adaptarse con el tiempo (algo abstracto) en términos de un material moldeable (algo concreto). Otro ejemplo es el modelo de las bolas de billar; la conservación del momento lineal no es evidente, pero al utilizar este modelo, el fenómeno se vuelve comprensible.

3.3 De la *doble hélice* al experimento más bello de la biología

Con el fin de aterrizar las ideas y argumentos que hemos presentado a lo largo de estos tres capítulos, en esta sección presentaremos el caso de la *doble hélice*, una conocida metáfora exitosa de la biología molecular que describe la estructura del ADN como dos cadenas entrelazadas en forma de espiral. Esta metáfora tuvo un papel clave en el desarrollo del experimento de Meselson-Stahl, mediante el cual quedó demostrado el mecanismo semiconservativo de la replicación del ADN frente a otras teorías de la época.

El modelo de la *doble hélice* propuesta por Watson y Crick consistía en dos cadenas de nucleótidos enrolladas una alrededor de la otra en forma de espiral. Cada cadena estaba compuesta por una serie de bloques de construcción llamados nucleótidos, que incluyen una base nitrogenada (adenina, timina, citosina o guanina), un azúcar (desoxirribosa) y un grupo fosfato. Las bases nitrogenadas se emparejan sistemáticamente, manteniendo la simetría helicoidal: la adenina se une siempre con la timina, y la citosina se une siempre con la guanina, formando puentes de hidrógeno estables.

Desde la publicación de su trabajo, diferentes metáforas se han utilizado para describir y explicar los hallazgos de Watson y Crick²⁵:

1. El ADN es una *piedra filosofal*.

²⁵ Las metáforas que se presentan a continuación se extrajeron del texto Las metáforas del ADN: una revisión de los procesos divulgativos de Sergi Cortiñas Rovira [Rovira, 2008].

2. El ADN es *el inicio de todas las cosas*.

Estas metáforas, donde el ADN adquiere un carácter divino, surgieron durante el acto de presentación del Proyecto Genoma Humano (Rovira, 2008), cuyo propósito era secuenciar el genoma humano. En el año 2000, Bill Clinton combinó otra conocida metáfora, EL ADN ES UN LENGUAJE, para referirse a la secuenciación del ADN humano con la siguiente expresión: “Estamos *aprendiendo el lenguaje con el cual Dios creó la vida humana*”, evidenciando que, al menos en el público general, las metáforas EL ADN ES UNA MOLÉCULA SAGRADA y EL ADN ES UN LENGUAJE estaban presentes al pensar en el ADN.

Otra metáfora popular para referirse al ADN es EL ADN ES INFORMACIÓN. Sustantivos como *secreto* o *código* y los verbos *decodificar* o *descifrar* siempre han ido vinculados a la molécula, convirtiéndola en un símbolo para adentrarse en aquello que permanece incomprensible y oculto. Esto se desdobra como “*Decodificar el ADN*”. Watson, por ejemplo, expresó en el año 2000: Ninguno de los que tuvimos el privilegio de ver por primera vez la *dobles hélice* del ADN pensamos jamás que viviríamos el tiempo suficiente para verla *completamente decodificada* (Watson en (Rovira, 2008)). Podemos decir que la *dobles hélice* volvió tangible y comprensible una idea que había sido difícil de entender: la estructura

del ADN, que hasta entonces se entendía en función de metáforas que lo retrataban como algo oculto²⁶.

Demos unos pasos atrás. En la década de 1950 se llevaron a cabo múltiples experimentos para descubrir la estructura del ADN, en ese momento se sabía que el ADN contenía la clave de la herencia y la transmisión de características de una generación a otra, pero su estructura exacta seguía siendo un misterio.

En 1952, Rosalind Franklin y Maurice Wilkins, utilizaron la difracción de rayos X para estudiar la estructura del ADN, como resultado, obtuvieron una imagen conocida como "Fotografía 51". La Fotografía 51 sugería una estructura helicoidal vista desde arriba, el modelo de Watson y Crick captura la simetría de la estructura helicoidal y la traslada al modelo de la *dobles hélice*.

²⁶ Un análisis detallado sobre las metáforas dentro y fuera de la comunidad científica utilizadas para hablar del ADN y su efecto en la comunicación de la ciencia puede encontrarse en el trabajo de Susanne Knudsen (Knudsen, 2005).

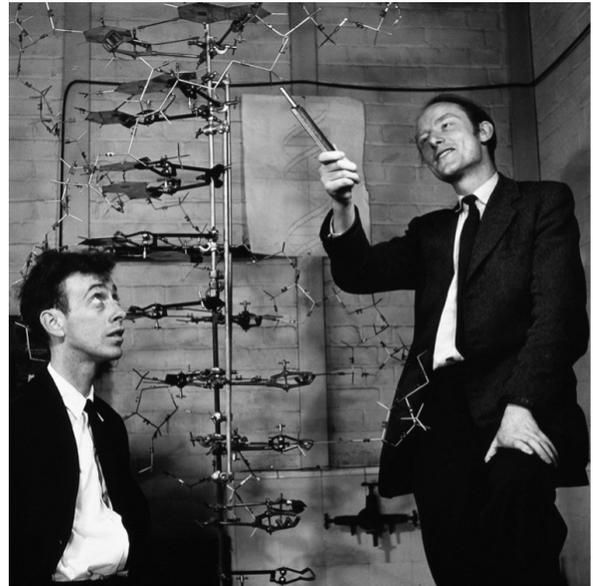
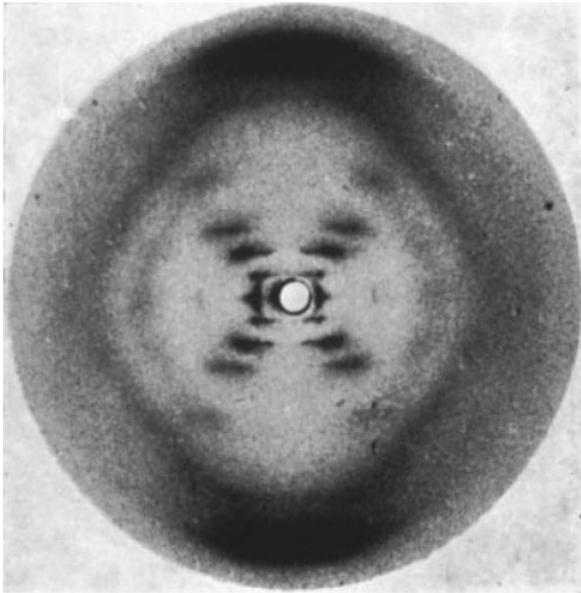


Ilustración 2 Fotografía 51 a la izquierda, Watson y Crick con su modelo a la derecha. (2016). Acevedo-Díaz, José., García-Carmona, et. al. Rosalind Franklin y la doble hélice del ADN. <https://goo.su/PTBAn>

Ahora bien, así como la Fotografía 51, sugirió una estructura helicoidal para el ADN, la *doble hélice* marcó la pauta para la resolución del problema sobre la replicación del ADN y la transmisión de información genética de una generación a otra. Según Rovira, la misma estructura sugería el mecanismo mediante el cual esta información se replicaba:

Queremos ofrecer aquí una estructura radicalmente diferente “que tiene “dos cadenas helicoidales cada una enrollada en torno al mismo eje”. Hacia el final de la pieza, está el segundo golpe de efecto: “No se escapa a nuestra comunicación que el apareamiento específico que hemos postulado sugiere inmediatamente un mecanismo de copia para el material genético”. (Crick citado en (Rovira, 2008))

El dilema sobre el mecanismo específico fue resuelto mediante el experimento de Meselson-Stahl en 1958. Antes existían dos teorías sobre la replicación del ADN: replicación dispersiva y replicación semiconservativa. En la primera, la molécula parental se fragmenta, y cada fragmento actúa como molde para sintetizar nuevos fragmentos complementarios; luego, los fragmentos originales y nuevos se

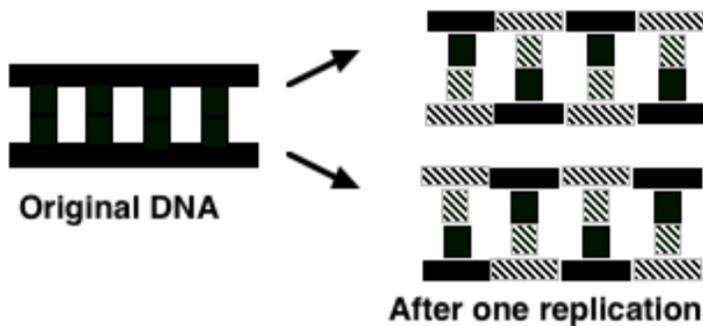


Ilustración 3 Replicación dispersiva. (2017). Composición de las moléculas antes y después. <https://goo.su/7CziLJG>

recombinan para formar moléculas hijas con segmentos intercalados de ADN antiguo y nuevo.

Por otro lado, en la replicación semiconservativa cada una de las dos moléculas nuevas de ADN está compuesta por una hebra de la molécula original y una hebra recién sintetizada.

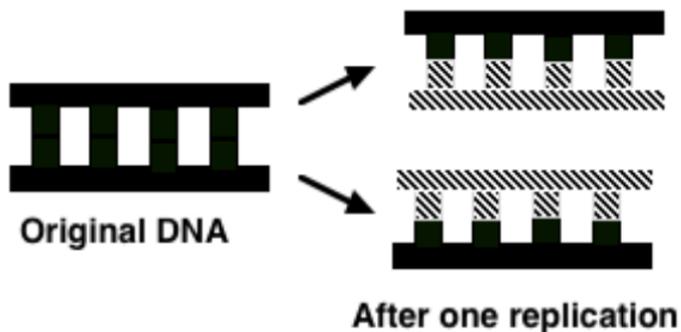


Ilustración 4 Replicación semiconservativa. (2017). Composición de las moléculas antes y después. <https://goo.su/7CziLJG>

Ahora bien, En 1958, Matthew Meselson y Franklin Stahl condujeron su famoso experimento para determinar cuál era el mecanismo correcto. Cultivaron bacterias *Escherichia coli* en un medio que contenía nitrógeno-15 (^{15}N), un isótopo pesado del nitrógeno. Esta elección permitió que todo el ADN de las bacterias incorporara el ^{15}N , haciéndolo más denso que el ADN normal. Este paso inicial fue establecido como una base comparativa para observar los cambios en la densidad del ADN en etapas posteriores del experimento. Después, las bacterias fueron transferidas a un medio que contenía nitrógeno-14 (^{14}N) un isótopo más ligero y el más común en la naturaleza. A medida que las bacterias continuaron creciendo y dividiéndose en este nuevo medio, comenzaron a incorporar el ^{14}N en lugar del ^{15}N en sus moléculas de ADN. Este cambio permitió a los científicos rastrear cómo se integraba el nuevo nitrógeno en el ADN durante la replicación.

Para analizar el ADN en diferentes momentos después del cambio al ^{14}N , Meselson y Stahl utilizaron una técnica de ultracentrifugación en gradiente de densidad de cloruro de cesio (CsCl)²⁷. Esta técnica permitió separar las moléculas de ADN basándose en su densidad, revelando la composición isotópica de las hebras de ADN en diferentes generaciones. Los resultados del experimento fueron

²⁷ técnica utilizada para separar moléculas, como el ADN, según su densidad. En este proceso, se mezcla el ADN con una solución de CsCl y se somete a centrifugación a alta velocidad. El CsCl forma un gradiente de densidad dentro del tubo de centrifugación, y las moléculas de ADN se mueven hasta alcanzar la posición donde su densidad coincide con la del gradiente, formando bandas distintas.

esclarecedores: En la primera generación, después de una ronda de replicación en el medio con ^{14}N , el ADN formó una banda intermedia, esto indicaba que cada molécula de ADN tenía una hebra original con ^{15}N y una hebra nueva ^{14}N , lo que respaldaba la teoría de la replicación semiconservativa.

Hay belleza en la contundencia con que el experimento resolvió el dilema y también en la simpleza de sus resultados, no debe el mote de “el experimento más bello de la biología” únicamente a lo que logró, sino cómo lo logró (Ivanova, 2023b, 2023a). Al igual que el Péndulo de Foucault, el experimento de Meselson-Stahl resolvió un problema importante de su tiempo, lo cual los hace epistémicamente relevantes. En ambos casos, la belleza del experimento reside en apreciar la relación entre el diseño del experimento y sus resultados. La diferencia en el caso del experimento de Meselson-Stahl es que no sólo el diseño del experimento es bello, también lo es la idea de fondo:

El experimento tiene un diseño elegante, original y acertado, perfectamente adaptado al objetivo que se persigue. La idea misma del experimento se considera bella e ingeniosa. El uso de la densidad como forma de etiquetar el material genético fue una característica original del experimento, que permitió a Meselson y Stahl estudiar cómo cambiaba el material genético a través de las siguientes generaciones de bacterias que estudiaron. Ernst Peter Fischer afirma que "sólo esta idea tiene algo de bello" (1991, 21). [Ivanova 2023b]²⁸

²⁸ The experiment has an elegant, original, and apt design, optimally suited for the purpose it was set out to achieve. The very idea behind the experiment is considered beautiful and ingenious. The use of density as a way of labelling the genetic material was an original feature of the experiment,

Esta reflexión nos remite al capítulo anterior, donde se argumentó que la evaluación intelectual se fusiona con la experiencia estética. Ivanova sostiene que la idea subyacente al experimento era bella. Esto sugiere una comparación entre la actividad científica y la artística: la creatividad del científico permite que una idea abstracta, como la replicación semiconservativa del ADN, se manifieste de manera más tangible, a través de los resultados del experimento de Meselson Stahl.

Ahora bien, la narrativa que va desde la Fotografía 51 al experimento de Meselson-Stahl, no sería posible sin la metáfora de la *dobles hélice*. Esta narrativa ejemplifica el ciclo que propuesto en los primeros capítulos mediante el cual los valores estéticos contribuyen a producir entendimiento científico: los valores estéticos actúan como guías epistémicas para la producción de nuevos productos científicos que permiten avanzar el entendimiento de un área de investigación. Estos productos, como experimentos y modelos, instancian valores estéticos. Finalmente, los resultados obtenidos de estos productos son sometidos a reevaluación por parte de la comunidad científica, dando inicio a un nuevo ciclo.

En el caso que acabamos de presentar, los resultados obtenidos a través de Fotografía 51 proyectan una imagen que formó parte importante de los elementos

The experiment has an elegant, original, and apt design, optimally suited for the purpose it was set out to achieve. The very idea behind the experiment is considered beautiful and ingenious. The use of density as a way of labelling the genetic material was an original feature of the experiment, allowing Meselson and Stahl to study how the genetic material changed through the next generations of bacteria they studied. Ernst Peter Fischer argues that 'There is something beautiful in this idea alone' (1991, 21).

que llevaron a Watson y Crick a postular el modelo de la *doble hélice*. En la interpretación del producto (la imagen), se mantiene la estructura helicoidal percibida, donde encontramos simetría, sistematicidad y congruencia, como guías epistémicas. Dentro de esta continuidad, podemos observar la reevaluación de los resultados de los productos en el experimento de Meselson-Stahl, que comprobó la dispersión semiconservativa del ADN que sugería el modelo de Watson y Crick. Observamos cómo los valores estéticos cumplen su función de guías epistémicas y, en este caso, se articulan a través de una metáfora que conecta la Fotografía con el experimento de Meselson-Stahl.

Conclusiones

Los ejemplos que hemos proporcionado nos ayudan a mostrar que, mientras en una filosofía tradicional los valores estéticos y las metáforas no tienen valor epistémico o son relegados al contexto del descubrimiento, en una filosofía centrada en las prácticas, donde el entendimiento se considera un valor cognitivo preferible al conocimiento, estos elementos adquieren nueva relevancia. Los valores estéticos tienen un valor epistémico al servir como guías para el avance de las prácticas científicas, y las metáforas pueden integrar valores estéticos y epistémicos, produciendo entendimiento.

En el caso del Péndulo de Foucault, experimento que resuelve una importante discusión de su tiempo, en parte, en virtud de sus rasgos estéticos. Con este ejemplo, vimos que los valores estéticos instanciados en productos científicos desempeñan un papel importante en el avance del entendimiento que va ligado a la experiencia estética del experimento.

Por otro lado, el ejemplo de la metáfora de la *doble hélice* nos permite observar el papel de valores estéticos como guías epistémicas, en este caso articulados en una metáfora que crea una narrativa que va desde la Fotografía 51 hasta el experimento de Meselson-Stahl. La fotografía ya sugería la estructura helicoidal presente en la *doble hélice* de Watson y Crick, modelo que ayudó al desarrollo del experimento de Meselson-Stahl, “el más bello de la biología”.

Las conclusiones extraídas de ambos ejemplos nos ayudan a ver con mayor claridad el ciclo que propusimos al principio de esta tesis. Los valores estéticos actúan como guías epistémicas para la producción de nuevos experimentos y modelos que permiten avanzar el entendimiento de un área de investigación. Estos valores se manifiestan en productos como experimentos y modelos. Los resultados obtenidos de estos productos son sometidos a reevaluación por parte de la comunidad científica, dando inicio a un nuevo ciclo.

En esta tesis, empleamos la Teoría de la Metáfora Conceptual para explicar el papel de los valores estéticos articulados en narrativas. Al considerar las metáforas científicas en términos de mapeos, podemos identificar el hilo conductor donde es posible encontrar que los valores estéticos actúan como guías epistémicas. Sin embargo, la CMT tiene sus limitaciones al intentar analizar algunos aspectos de la obtención de entendimiento.

El entendimiento es un proceso tanto perceptual como intelectual; el análisis formal resulta insuficiente este fenómeno cognitivo. Por ejemplo, en la siguiente imagen podemos apreciar que para resolver el *puzzle* que presenta la imagen, nuestro cerebro agrupa todos los fragmentos de forma correcta después de un tiempo (Ramachandran, 2008):



Ilustración 5 El dalmata "escondido". (s. f). Wikimedia Commons. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gestalt5.PNG>

Es posible que, si observamos la naturaleza suficiente tiempo, empecemos a ver patrones como en el caso de la imagen. Una pregunta importante es si están ahí o sólo lo percibimos así. Es por eso por lo que pensamos que en la evaluación intelectual se fusionan ambos tipos de belleza, pero para poner esta teoría a prueba es necesario buscar las herramientas que nos permitan considerarlos de manera integral.

Referencias

- Anscomb, C. (2023). Beautiful Experiments in Art and Science. En M. Ivanova & A. Murphy (Eds.), *The aesthetics of scientific experiments* (pp. 37-56). Routledge.
- Arcangeli, M., & Dokic, J. (2020). A Plea for the Sublime in Science. En M. Ivanova & S. French (Eds.), *The Aesthetics of Science: Beauty, Imagination and Understanding* (pp. 104-125). Routledge.
- Black, M. (1977). More about metaphor. *Dialectica*, 31(3/4), 431-457.
<https://doi.org/10.1111/j.1746-8361.1977.tb01296.x>
- Böhme, G. (2017). *Atmospheric Architectures: The Aesthetics of Felt Spaces* (A.-Chr Engels-Schwarzpaul). Bloomsbury Academic.
- Carrillo, N., & Martínez, S. (2023). Scientific Inquiry: From Metaphors to Abstraction. *Perspectives on Science*, 31(2), 233-261. https://doi.org/10.1162/posc_a_00571
- Cartwright, N. (1983). *How the Laws of Physics Lie*. Oxford University Press.
- Cartwright, N. (2010). Models: Parables v Fables. En R. Frigg & M. Hunter (Eds.), *Beyond Mimesis and Convention: Representation in Art and Science* (pp. 19-33). Springer Netherlands.
- Currie, A. (2023). Towards a New Aesthetics of Science: Aesthetic Cultures and the Processes and Objects of Regard. En M. Ivanova & A. Murphy (Eds.), *The aesthetics of scientific experiments*. Routledge.
- Elgin, C. (1996). *Considered Judgment*. Princeton University.
- Elgin, C. (2010). Telling Instances. En R. Frigg & M. Hunter (Eds.), *Beyond mimesis and convention: Representation in art and science* (Vol. 262, pp. 1-19). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-3851-7>

- Elgin, C. (2011). Del conocimiento al entendimiento. En M. Valdés & M. Á. Fernández (Eds.), *Normas, virtudes y valores epistémicos. Ensayos de epistemología contemporánea* (pp. 149-176.). Instituto de Investigaciones Filosóficas, UNAM.
- Elgin, C. (2017). Exemplification in understanding. En S. R. Grimm & A. S. (Eds.), *Explaining understanding: New perspectives from epistemology and philosophy of science* (pp. 76-92). Routledge, Taylor & Francis Group.
- Elgin, C. (2020). Epistemic gatekeepers. En M. Ivanova & S. French (Eds.), *The aesthetics of science: Beauty, imagination and understanding* (pp. 21-35). Routledge.
- Elgin, C. Z. (2002). Creation as reconfiguration: Art in the advancement of science. *International Studies in the Philosophy of Science*, 16(1), 13-25.
<https://doi.org/10.1080/02698590120118792>
- Fraassen, V., & C, B. (2008). *Scientific Representation: Paradoxes of Perspective*. Oxford University Press.
<https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199278220.001.0001>
- Frigg, R., & Hunter, M. (Eds.). (2010). *Beyond Mimesis and Convention: Representation in Art and Science*. Springer Netherlands.
- Gibbs, R. W. (2009). Why do some people dislike conceptual metaphor theory?. *Cognitive Semiotics*, 5(1-2), 14-36.
- Hesse, M. (1988). The Cognitive Claims of Metaphor. *The Journal of Speculative Philosophy*, 2(1), 1-16. <https://www.jstor.org/stable/25668224>
- Hesse, M. (2001). Models and Analogies. En W. H. Newton-Smith (Ed.), *A companion to the philosophy of science* (Reprinted, pp. 299-307). Blackwell.
- Ivanova, M. (2023a). The Aesthetic of Experiments. En M. Ivanova & A. Murphy (Eds.), *The aesthetics of scientific experiments* (pp. 15-35). Routledge.

- Ivanova, M. (2023b). What is a Beautiful Experiment? *Erkenntnis*, 88(8), 3419-3437.
<https://doi.org/10.1007/s10670-021-00509-3>
- Knudsen, S. (2005). Communicating novel and conventional scientific metaphors: A study of the development of the metaphor of genetic code. *Public Understanding of Science*, 14(4), 373-392. <https://doi.org/10.1177/0963662505056613>
- Kövecses, Z. (2002). *Metaphor: A Practical Introduction*. Oxford University Press New York, NY. <https://doi.org/10.1093/oso/9780195145113.001.0001>
- Kovecses, Z. (2010). *Metaphor: A practical introduction* (2.^a ed.). Oxford University Press.
- Kövecses, Z. (2017). Conceptual metaphor theory. En E. Semino & Z. Demjén (Eds.), *The Routledge handbook of metaphor and language* (pp. 31-28). Routledge.
- Kurz-Milcke, E., Nersessian, N., & Newstetter, W. (2004). What has history to do with cognition? Interactive methods for studying research laboratories. *Journal of Cognition and Culture*, 4(3-4), 663-700.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1981). *Metaphors We Live By* (W. a new Afterword, Ed.). University of Chicago Press.
<https://press.uchicago.edu/ucp/books/book/chicago/M/bo3637992.html>
- Martinez, S. F. (2023). What makes a good metaphor in science. *Signo*, 48(91), 23-30.
<https://doi.org/10.17058/signo.v48i91.18145>
- Martínez, S. F., & Huang, X. (2015). *Hacia una filosofía de la ciencia centrada en prácticas* (Primera edición). Bonilla Artigas Editores.
- Ramachandran, V. S. (2008). El cerebro artístico. En F. Pardo Gella (Trad.), *Los laberintos del cerebro* (pp. 49-65). La liebre de Marzo.
- Rovira, S. C. (2008). Las metáforas del ADN: una revisión de los procesos

divulgativos. *JCOM*, 7(1).