



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**POSGRADO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA**

**CAMBIO CONCEPTUAL Y DESARROLLO COGNITIVO EN  
FILOSOFÍA DE LA CIENCIA**

**TESIS**

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA**

**PRESENTA:**

**ERIK ALEJANDRO LÓPEZ RETANA**

**ASESOR:**

**DR. SERGIO FERNANDO MARTÍNEZ MUÑOZ**  
**Instituto de Investigaciones Filosóficas**

**Ciudad Universitaria, Ciudad de México, Noviembre 2020**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

## Índice general

<b>Agradecimientos</b>	<b>3</b>
<b>Cambio conceptual y desarrollo cognitivo en filosofía de la ciencia</b>	<b>4</b>
<b>Introducción general</b>	<b>4</b>
<b>Capítulo 1. Tres maneras de entender el cambio conceptual</b>	<b>11</b>
Introducción	11
1.1. Cambio conceptual desde la concepción positivista de la ciencia	12
1.2. Cambio conceptual y el problema de la racionalidad del cambio científico	14
1.3. ¿Cómo se crean los conceptos científicos? Entender las prácticas y procesos cognitivos que conducen a la innovación conceptual	20
Conclusiones del capítulo	26
<b>Capítulo 2. De la historicidad de los conceptos científicos: una mirada desde la epistemología histórica de Georges Canguilhem</b>	<b>27</b>
Introducción: La historicidad de los conceptos desde la epistemología histórica y el giro hacia la práctica	27
2.1. La historia de los conceptos de Georges Canguilhem	29
2.2. Conceptos científicos y prácticas experimentales	30
2.3. Sistemas experimentales y operacionalización de conceptos	33
2.4. Conceptos como guía en contextos experimentales	35
Conclusiones: de la historicidad de los conceptos a la cognición científica	38
<b>Capítulo 3. Conciliando historia y cognición: cognición distribuida y cambio conceptual</b>	<b>40</b>
Introducción	40
3.1. Estudios cognitivos de la práctica científica y la barrera entre lo social y lo cognitivo	42
3.2. Prácticas de modelación e innovación conceptual en el laboratorio de bioingeniería: el caso de CAT	49
Prácticas de modelación en laboratorios de bioingeniería	49
El surgimiento de CAT: un nuevo concepto para entender la actividad neuronal	51
3.3. Discusión: Conceptos como herramientas cognitivas	55
<b>Conclusiones: Conceptos, herramientas y el desarrollo de la cognición científica</b>	<b>60</b>
<b>Referencias Bibliográficas</b>	<b>62</b>

## **Agradecimientos**

Debo un agradecimiento sincero a mi familia por apoyar siempre mis aspiraciones personales y académicas, incluso cuando ello implica estar ausente por largos periodos de tiempo. Su apoyo me es y me será siempre indispensable.

Quiero agradecer la atención, apoyo y guía intelectual que obtuve del Dr. Sergio Martínez durante la realización de este trabajo y mi estancia general en el programa de maestría. Aprender más acerca del trabajo académico y filosófico pudiendo observar el desenvolvimiento profesional del Dr. Martínez ha sido todo un privilegio.

Debo también gratitud y reconocimiento a los miembros de mi sínodo: Dra. Ana Laura Fonseca, Dr. Godfrey Guillauin, Dra. Vivette García y a la Dra. Melina Gástelum Vargas por la revisión atenta de este trabajo. Espero más adelante seguir teniendo la oportunidad de colaborar y aprender con ustedes.

Por último, agradezco a todos los compañeros y amigos que hice durante mi estancia en la maestría, por todas las buenas experiencias compartidas.

Realicé mis estudios de posgrado gracias a una beca del CONACYT. Asimismo, esta investigación pudo concluirse gracias al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM IN402018 “Cognición, artefactualidad y representación en la ciencia”. Agradezco a la DGAPA-UNAM y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología la beca recibida.

## **Cambio conceptual y desarrollo cognitivo en filosofía de la ciencia**

“A concept is not an isolated, ossified changeless formation, but an active part of the intellectual process, constantly engaged in serving communication, understanding, and problem solving”.

Lev Vygotsky

*Thought and Language* (2012, p. 105)

### **Introducción general**

Tradicionalmente, la cuestión del cambio conceptual en filosofía de la ciencia suele abordarse desde perspectivas semánticas que privilegian la comparación y análisis de estructuras teóricas, y no tanto a partir de los procesos históricos y cognitivos concretos mediante los cuales los conceptos científicos se conforman y desarrollan en la práctica. Este enfoque tradicional para entender el cambio conceptual es reminiscente de una filosofía de la ciencia centrada en el análisis de estructuras teóricas y que entiende al cambio científico esencialmente como la sucesión en la historia de tales estructuras. Como intentaré mostrar en lo que sigue, esta manera típicamente positivista de entender el desarrollo científico y el cambio conceptual es limitada, y aunque siguió mostrando su influencia incluso en los planteamientos de filósofos post-positivistas de la ciencia, hay maneras filosóficamente interesantes de pensar el desarrollo de conceptos en la ciencia partiendo de posiciones historicistas más bien centradas en las prácticas científicas, así como de estudios histórico-cognitivos que nutren sus investigaciones con resultados de las ciencias cognitivas contemporáneas.

En los enfoques tradicionales, los conceptos científicos están asociados con términos clave que aparecen en las teorías científicas, términos que denotan las clases de cosas sobre las que éstas versan. En un enfoque más orientado hacia la práctica, por contraste, importan más las actividades y los problemas que llevan a los científicos a formular conceptos novedosos. Esta

preocupación por los procesos puede leerse como una revaloración de la importancia epistémica del llamado contexto de descubrimiento (en contraposición al llamado contexto de justificación) tan relegado en la filosofía positivista de la ciencia<sup>1</sup>, y como un paso hacia una epistemología de la ciencia que no se agota en el análisis lógico de estructuras teóricas ni en la caracterización de las relaciones entre teoría y evidencia empírica. Desde una filosofía de la ciencia de orientación más práctica e histórica, los conceptos científicos serían creaciones (productos históricos) que cumplen funciones determinadas en la investigación. En lo que sigue, consideraré algunos debates y posiciones relevantes que ayudarán a comprender mejor la transición entre una manera y otra de pensar los conceptos científicos.

El problema del cambio conceptual atrajo particular interés en la filosofía de la ciencia de la segunda mitad del siglo XX al estar en el centro de los debates acerca de la racionalidad del cambio científico. Dichos debates estuvieron asociados a los trabajos de filósofos historicistas como Thomas Kuhn (1962/1970) y Paul Feyerabend (1981a, 1981b), quienes enfatizaron los cambios en el significado y la extensión de los conceptos científicos producto de grandes virajes teóricos que en la historia de la ciencia se han asociado con las llamadas revoluciones científicas. Esta variación de significado impediría que los términos de una teoría científica del pasado encontraran una traducción en términos de la nueva teoría que la sucede. Esta intraducibilidad (inconmensurabilidad) trae problemas para la doctrina positivista de la reducción inter-teórica y en general para la concepción positivista del progreso científico como acumulación de conocimiento.

La idea de reducción inter-teórica pretendía mostrar cómo los aspectos exitosos de las teorías del pasado pueden expresarse como consecuencias deductivas de la teoría más vanguardista y verosímil (*e.g.* Nagel, 1979). Sin embargo, para que esto fuera posible debía mantenerse una equivalencia del significado entre los términos de las teorías que participan en la reducción, y a decir de los historicistas esta posibilidad queda descartada dada la variación del significado inherente al cambio científico (*Cf.* Feyerabend, 1981a). Pues, si el significado de los

---

<sup>1</sup> Véase Martínez & Huang, 2015 Cap. 2, para una revisión de varias posiciones que argumentan en favor de la relevancia de las prácticas científicas y otros tipo de procesos (sociales, psicológicos, etc.) para la filosofía de la ciencia.

términos científicos<sup>2</sup> está dictado por la teoría de la que forman parte y el cambio científico es modelable primordialmente como la suplantación de teorías, entonces una variación radical en el significado y extensión de los términos científicos era de esperarse.

A partir de la importante crítica de Kuhn y Feyerabend, el problema del cambio conceptual y de la racionalidad del cambio científico se condujo en términos de las relaciones de traducibilidad e intraducibilidad entre dos estructuras conceptuales alternativas. Este énfasis en el lenguaje no parece tan alejado de los análisis lógicos y lingüísticos de la tradición positivista cuyo declive a veces se le atribuye precisamente al trabajo de los historicistas. De este modo, a un problema diagnosticado a partir de un estudio de la historia de la ciencia se le dio un tratamiento curiosamente ahistórico, pues al discutir las relaciones de conmensurabilidad e inconmensurabilidad entre teorías científicas alternativas no se está preguntando por las prácticas y condiciones históricas que dan origen a los conceptos científicos, ni por el rol de éstos en la práctica y el desarrollo de la investigación.

Después de Kuhn y Feyerabend autores como Nancy Nersessian (1984) y David Gooding (1990), al igual que historiadores de la ciencia con inclinaciones filosóficas, intentaron seguir más de cerca la recomendación historicista de que una filosofía de la ciencia debería encontrar su asidero principal en un examen concienzudo de la práctica científica y su historia. Así pues, un entendimiento histórico de los conceptos también consiste en la comprensión de los procesos de razonamiento y los recursos cognitivos involucrados en su producción. A su vez, una concepción situada y naturalizada del desarrollo conceptual constituye también una forma de hacer frente al famoso problema de la racionalidad del cambio científico y al problema de la inconmensurabilidad, que es en cierto sentido un producto de los análisis que se limitan a comparar los estadios iniciales y finales de un determinado periodo de la historia de la ciencia por medio de la confrontación de teorías científicas alternativas.

En la literatura reciente encontramos estudios que parten de algunas de las posturas mencionadas para hacer ver cómo el interés filosófico en los conceptos científicos no está necesariamente supeditado a la cuestión del cambio, comparación y elección de teorías

---

<sup>2</sup> En las discusiones acerca del cambio teórico los positivistas lógicos preferían hablar de “términos” en lugar de “conceptos” dada la connotación psicologista de la última designación. Como se verá a lo largo de este trabajo, una filosofía naturalizada de la ciencia no necesita mantener tales escrúpulos. Sobre esto se ahondará más en el capítulo uno.

científicas. Nersessian y Arabatzis (2015), por ejemplo, elaboran las ideas de un estudio sobre la física de bajas temperaturas a cargo de Kostas Gavroglu y Yorgos Goudaroulis (1989) para plantear este punto. Gavroglu y Goudaroulis plantean que en el proceso de descripción de nuevos fenómenos, los conceptos científicos son sacados “fuera” de sus contextos teóricos originales y en este proceso adquieren significado adicional, volviéndose relativamente autónomos con respecto a las teorías originales de las que formaban parte. Esta idea resultó particularmente provocadora en un contexto en el que se pensaba que el significado de los conceptos científicos estaba completamente determinado por la teoría de la que formaban parte, esto siguiendo a la lectura dominante del trabajo de Kuhn y Feyerabend.

En el enfoque de Gavroglu y Goudaroulis, los conceptos se forman y articulan a través de la solución de problemas, y éstos se expanden cuando se los usa para tratar de explicar fenómenos fuera de sus contextos originales de aplicación (Gavroglu y Goudaroulis, 1989, p. 27; una idea similar puede encontrarse en Steinle, 2012). Más importante todavía, cuando los conceptos salen de sus contextos habituales surgen nuevas situaciones paradójicas, y el intento por dar sentido a estas situaciones conduce a la formulación de nuevos conceptos, es decir, genera cambio conceptual (Nersessian & Arabatzis, 2015, pp. 225-6).

Nersessian y Arabatzis expanden las intuiciones de Gavroglu y Goudaroulis a partir de la incipiente literatura acerca de la experimentación en filosofía de la ciencia y los llamados estudios histórico-cognitivos de los que Nersessian fue pionera (*e.g.* Nersessian, 1984, 1992, 1995). En dichas fuentes se aprecia cómo conceptos novedosos se articulan junto con sistemas experimentales en los que artefactos como modelos y otro tipo de instrumentos y herramientas tienen un potencial cognitivo importante, ya que es por medio de la creación y del trabajo con artefactos que se llega a conceptualizar fenómenos, fenómenos que comenzaron a explorarse a partir de conceptos provenientes de contextos teóricos ajenos. Trabajos como el de Gavroglu y Goudaroulis, así como otras tendencias en filosofía de la experimentación como las de Ian Hacking (1983, 1992) o Hans-Jörg Rheinberger (1997), dan pie para pensar a los conceptos científicos como constituidos en el transcurso de prácticas experimentales (no-teóricas).

Esta relación entre el desarrollo de conceptos científicos y el desarrollo de prácticas experimentales también puede encontrarse en propuestas de epistemología histórica como



aquella desarrollada inicialmente en Francia por Georges Canguilhem y otros autores a mediados del siglo XX. Este tipo de historicismo de los conceptos ha sido desarrollado sobre todo en épocas recientes por historiadores-filósofos de la ciencia (e.g. Rheinberger, 2005, 2010; Méthot, 2013; Schmidgen, 2014; Smith, 2019). En la historia epistemológica de Canguilhem (e.g. Canguilhem, 2008a, 2008b) se destacan las interacciones y potencialidades que rodean a los conceptos en las diferentes etapas de su desarrollo. Asimismo, este tipo de historia exhibe cómo los contextos problemáticos, prácticos y materiales en los que se desarrollan los conceptos cambian y evolucionan junto con los conceptos.

Como puede notarse a partir de este breve panorama, existen diferentes maneras de pensar el desarrollo de los conceptos científicos y su impacto en el desarrollo de la práctica científica que son independientes de las discusiones tradicionales acerca del cambio teórico, la inconmensurabilidad o la racionalidad del cambio científico. Así pues, en este trabajo se exploran algunas maneras de entender el cambio conceptual a partir de perspectivas históricas y orientadas hacia la práctica, preguntando por los procesos y prácticas involucrados en su conformación, por las funciones que cumplen los conceptos en la investigación y por la manera en que la introducción de novedades conceptuales modifica la investigación y las prácticas de razonamiento. Como se sugiere a continuación, el abordaje de estas cuestiones interrelacionadas es susceptible de un tratamiento que mezcla elementos de la metodología histórica y filosófica con nociones y metodologías provenientes de los estudios cognitivos sobre ciencia.

En los enfoques históricos recién esbozados se destaca el carácter situado de la actividad científica y los procesos de formación de conceptos en contextos sociales, culturales, tecnológicos y materiales específicos. Este tipo de intuición proveniente de estudios históricos también se ha desarrollado a través del uso de conceptos y metodologías provenientes de las ciencias cognitivas contemporáneas, sobre todo en relación de la idea de la cognición como un fenómeno situado en contextos prácticos específicos y distribuido entre agentes, artefactos y las características del ambiente. Tal conexión puede encontrarse, entre otros autores, en el tipo de trabajo etnográfico, histórico y cognitivo que Nancy Nersessian ha desarrollado en los últimos años de la mano de un equipo interdisciplinario (e.g. Nersessian, 2005, 2006; Nersessian et al., 2003; Kurz-Milcke et al., 2004).

En el trabajo de Nersessian y colegas, hay una relación estrecha entre los procesos de formación de conceptos y la construcción de sistemas de cognición como los laboratorios científicos. En dichos trabajos, el desarrollo de conceptos se entiende como un fenómeno situado, es decir, que no ocurre sólo en las cabezas de los agentes, y que depende de los recursos del ambiente y de los modos de práctica que ahí se realizan. Así pues, la introducción de nuevos conceptos modifica todos estos elementos de la práctica científica, siendo entonces un factor importante en el desarrollo de la cognición científica.

De este modo, en la presente tesis pretendo indagar el impacto que tienen los conceptos científicos para el desarrollo de la práctica y la cognición científica a partir de perspectivas históricas centradas en la práctica y de perspectivas más ecológicas y sociales sobre la cognición científica. Con este propósito, me propuse plantear un recorrido desde posiciones clásicas acerca del cambio conceptual hasta estudios contemporáneos que abordan los procesos de formación de conceptos en contextos situados de cognición científica. Entre los tópicos de interés filosófico que emergen a lo largo de este recorrido, encontramos una transición desde un entendimiento de los conceptos como ítems lingüísticos y representaciones mentales, hasta una concepción de los conceptos científicos como un tipo de herramienta que realiza distintos tipos de trabajo epistémico en diversas etapas de la investigación científica. Así pues, este trabajo consta de los siguientes tres capítulos.

En el capítulo uno se discuten tres maneras importantes en las que se ha entendido al cambio conceptual en la filosofía de la ciencia del siglo XX: la visión del positivismo lógico, la visión historicista y las posturas que buscan ahondar en las intuiciones de los historicistas recurriendo a la historia de la ciencia y a perspectivas provenientes de las ciencias cognitivas. Es aquí que se discute el problema de la inconmensurabilidad así como algunas de las consideraciones tardías que Kuhn ofreció sobre el tema. Cabe mencionar que, a pesar de la importancia histórica del problema, la llamada tesis de inconmensurabilidad entre teorías científicas no forma parte de la propuesta que después pretendo articular. La idea de los conceptos científicos como creaciones que surgen conforme se intentan resolver problemas de investigación y se exploran nuevos fenómenos es una acepción que se presenta en este capítulo y figurará en el resto del trabajo.

En el capítulo dos se discute la historicidad de los conceptos científicos y su carácter situado en condiciones sociales, históricas y materiales concretas por medio de algunos planteamientos de la epistemología histórica de Georges Canguilhem y algunos de sus intérpretes contemporáneos. La historia epistemológica de Canguilhem muestra la conexión entre el desarrollo de conceptos científicos y las prácticas experimentales de las ciencias de la vida. Este tipo de enfoque histórico presenta a los procesos de formación de conceptos como situados en prácticas y a la vez como generadores de prácticas. Tal recursividad es muestra de la relevancia que tiene el desarrollo conceptual para el desarrollo de la cognición científica en general, si, tomando en cuenta la literatura contemporánea acerca de la cognición situada, por cognición entendemos prácticas situadas de razonamiento y solución de problemas que dependen también de las características del ambiente donde se desarrolla el trabajo científico.

El tercer capítulo habla sobre los factores cognitivos detrás de la creación y modificación de conceptos en sistemas de cognición científica como son los laboratorios. El hilo conductor de este capítulo es la idea de que mostrar la naturaleza histórica de los conceptos científicos equivale a ponerlos en situación en coordenadas sociales, culturales y materiales y que este proceso pudiera tener un análogo con los esfuerzos contemporáneos por situar la actividad cognitiva y por valorar la relevancia de las condiciones ambientales para la cognición. Este tipo de confluencia entre factores históricos, sociales y cognitivos a la hora de explicar la creación de nuevos conceptos en la práctica científica es característico de los estudios etnográfico-cognitivos que Nancy Nersessian condujo en años recientes junto con un equipo interdisciplinario. A lo largo del capítulo se discuten algunos de los resultados e intuiciones del trabajo de Nersessian y colegas, en particular su uso del marco interpretativo de la cognición situada y distribuida.

En la historia del desarrollo y uso de conceptos científicos vemos también modificadas las posibilidades de interactuar con el mundo y de razonar acerca de él. En este sentido, comprender la historia y los aspectos involucrados en la creación y la modificación de los conceptos científicos contribuye a la meta más general de comprender el desarrollo histórico de los modos científicos de cognición, es decir, el desarrollo de diversas formas de práctica, razonamiento y solución de problemas. En las siguientes páginas pretendo entonces construir un caso para pensar a los conceptos científicos, no ya como entidades lingüísticas o mentales, ni como parte de una discusión subsidiaria del entendimiento del cambio científico como cambio

esencialmente teórico, sino como herramientas que tienen un impacto relevante en el desarrollo de la cognición científica. Esto sin olvidar que la cognición es un asunto de interacción y modificación del ambiente donde se despliega el razonamiento.

## **Capítulo 1. Tres maneras de entender el cambio conceptual**

### **Introducción**

Existe una extensa literatura acerca del tema del cambio conceptual en los campos de la historia y la filosofía de la ciencia contemporánea. Seguir la trayectoria de este problema resulta interesante, ya que los distintos enfoques y supuestos desde los que se lo ha presentado son muestra también de un cambio en los supuestos y tendencias dominantes en el campo disciplinar de la filosofía de la ciencia del último siglo.

En lo que sigue ofrezco una breve revisión histórica del problema del cambio conceptual en la historia y filosofía de la ciencia del siglo XX. Este recuento comprende, a grandes rasgos, tres etapas. La primera presenta el entendimiento clásico de los conceptos científicos para la filosofía positivista de la ciencia, donde los conceptos son equiparables a los términos teóricos que aparecen en las teorías científicas entendidas como conjuntos de enunciados o proposiciones dentro de un sistema deductivo-axiomático.

La segunda considera las críticas a varios de los supuestos centrales de la imagen positivista de la ciencia (como el ideal de ciencia unificada posibilitado mediante el análisis reductivo de las teorías) provenientes de autores del llamado giro historicista en filosofía de la ciencia. Estas críticas descansaban sobre la idea de que las transformaciones teóricas radicales en la historia de la ciencia traían consigo modificaciones en el significado de conceptos centrales en las teorías científicas. Esta diversidad semántica ponía en riesgo la mutua inteligibilidad de sistemas conceptuales alternativos y de paso a la racionalidad misma del cambio científico, de modo que nos encontramos ante el llamado problema de la inconmensurabilidad entre teorías científicas.

La tercera sección considera enfoques que, a mi juicio, asumen de manera más radical la recomendación historicista de que para comprender la ciencia hay que prestar atención a las

prácticas científicas reales y a su desarrollo histórico. Estos enfoques, que podríamos denominar histórico-cognitivos, abordan el problema del cambio conceptual no como una mera cuestión de semántica, sino que más bien estudian los procesos involucrados en la generación de novedades conceptuales en contextos históricos, como los problemas que motivan el desarrollo de nuevas herramientas conceptuales, así como los recursos cognitivos y las prácticas de razonamiento utilizadas en su confección. Este tipo de enfoques serán el suelo para las consideraciones en los capítulos posteriores.

Esta revisión introduce discusiones centrales que serán tratadas más adelante a mayor profundidad, como la relación entre la creación y modificación de conceptos científicos con el desarrollo de la práctica científica. El lector notará que qué es el cambio conceptual y en qué sentido es o no un problema, depende mucho de los supuestos historiográficos y filosóficos detrás de los autores, incluso de cuál es su idea acerca de la naturaleza de la cognición, por ejemplo. Al final de este recorrido el problema ante el cual nos encontraremos no será ya el clásico de la racionalidad o irracionalidad del cambio científico, sino una discusión acerca del posible estatus de los conceptos como herramientas y habilidades y su papel en el desarrollo de la cognición científica.

### **1.1. Cambio conceptual desde la concepción positivista de la ciencia**

La idea positivista del cambio conceptual está ligada al ideal de ciencia unificada, y a la idea de un lenguaje científico universal articulable por medio del aparato formal de la “nueva lógica” desarrollada a inicios del siglo XX. En el contexto del positivismo lógico, la idea de teoría científica se entendió como un conjunto de enunciados organizados en sistemas axiomáticos-deductivos. Si bien las teorías constaban también de enunciados cuya relación con la experiencia sensible no es tan directa, su significado debería poder expresarse en términos de enunciados empíricos básicos mediante conexiones establecidas como reglas de correspondencia. Así pues, el significado de estos enunciados o proposiciones estaba dictado, en última instancia, por las relaciones de verificabilidad o confirmación que estas afirmaciones pudieran guardar con respecto a “lo dado” en la experiencia.

La búsqueda de un lenguaje científico universal y un sistema total de conceptos (Hahn *et al*, 1996, p.328), como elementos característicos del proyecto positivista de la ciencia unificada presuponen que:

- a) Se puede tratar a las estructuras conceptuales de la ciencia como un lenguaje, y
- b) Que las relaciones entre los conceptos en estos lenguajes y los fenómenos empíricos, y entre los conceptos mismos, puede determinarse utilizando las herramientas metodológicas provistas por la lógica (Nersessian, 2008, p. 2).

Por medio de los recursos de la lógica, los positivistas lógicos se esforzaron por desarrollar una teoría del significado científico que asegurara una continuidad semántica entre diferentes teorías, de modo que pudiera mostrarse cómo los aciertos de las teorías científicas del pasado son consecuencias deductivas de las teorías más vanguardistas. Esto era necesario para sostener una imagen acumulacionista del progreso científico. Dentro de este marco, el razonamiento científico se entiende como un procedimiento mecánico de hacer inferencias a partir de proposiciones, de ahí también que soliera pensarse que el razonamiento científico era susceptible de ser capturado a partir de modelos deductivos o inductivos.

Respecto al tema de los conceptos, el énfasis en estructuras lingüísticas formales y en “términos”, más que en “conceptos” da cuenta del antipsicologismo típico del positivismo lógico. La noción de concepto parecía estar demasiado cercana a la experiencia personal y a las representaciones mentales de los individuos, o, puesto de otra forma, la noción de concepto estaba demasiado manchada de subjetividad como para ser admisible en el discurso objetivo de la ciencia. Al concentrarse en la forma y la estructura lógica de un lenguaje ideal, los positivistas buscaban asegurar objetividad intersubjetiva (Friedman, 1999, pp. 95-101).

Conducir un análisis puramente estructural implica, sin embargo, tener que sacrificar el contenido. Esta manera de presentar los conceptos y las teorías es un tipo de reconstrucción que no tiene mucho que ver con el trabajo empírico real de la ciencia. Como Arabatzis y Kindi lo plantean, los conceptos de los positivistas “son meros nodos en un sistema de relaciones estructurales y solamente tienen propiedades formales y estructurales” (2008, p. 348).

Arabatzis y Kindi también sugieren que los positivistas trabajaban con una concepción de los conceptos y el significado como si éstos fueran un tipo de entidad. El tipo de “entidad” aquí

aludida puede ser algo como una imagen o representación mental, un referente en el mundo de los objetos o cualquier otra clase de forma abstracta en un reino platónico (Arabatzis & Kindi, 2008, p. 350). Cualquiera que fuera el caso, para que los pensamientos que involucran estos conceptos fueran significativos debía existir “un flujo continuo de contenido empírico desde el nivel observacional al nivel abstracto de la teoría y hacia las vacías carcasas sintácticas de los términos teóricos de la ciencia” (Arabatzis & Kindi, 2008, p. 350).

Para los positivistas lógicos el cambio conceptual no era exactamente un problema, sino “la acumulación continua de mejores medios (conceptos, hipótesis, leyes, teorías) para alcanzar la verdad acerca del mundo” (Arabatzis & Kindi, 2008, p. 352). No es hasta que los llamados filósofos historicistas de la ciencia introdujeron la idea de la variación histórica de los conceptos científicos, cuestionando en el proceso la idea positivista de reducción interteórica y progreso acumulativo, que la idea del cambio conceptual adquiere mayor resonancia como un problema central para los filósofos de la ciencia. Sin embargo, a pesar de que suele considerarse que el giro historicista representa un quiebre radical con la tradición del positivismo lógico, llama la atención que los historicistas hayan tratado este problema como primordialmente una cuestión del lenguaje, atendiendo todavía a muchos de los supuestos de los positivistas lógicos.

## **1.2. Cambio conceptual y el problema de la racionalidad del cambio científico**

La segunda etapa de este recuento corresponde al llamado “giro historicista” en filosofía de la ciencia en la segunda mitad del siglo XX. Este movimiento está sobre todo asociado con los nombres de Thomas Kuhn (1962/1970a) y Paul Feyerabend (1981a, 1981b). A partir de una reflexión sobre la historia de las ciencias físicas, Kuhn y Feyerabend detectaron transformaciones importantes en los significados de conceptos centrales para las teorías científicas. Esta variación semántica radical se tenía por producto de las grandes transformaciones teóricas identificadas bajo el rótulo de “Revoluciones Científicas” (Kuhn, 1962/1970a).

Según el diagnóstico inicial de los críticos de Kuhn y Feyerabend (escribiendo y analizando el problema todavía desde un ángulo más bien positivista), tal disparidad semántica y conceptual comprometía la posibilidad de comunicación racional, a través de un lenguaje observacional neutro y compartido, entre adherentes a distintos sistemas teóricos y conceptuales.

En ausencia de este diálogo, sería imposible comparar los méritos de las teorías alternativas y elegir una u otra con base en razones. Este es el llamado problema de la inconmensurabilidad entre teorías científicas.

En lo que sigue, no pretendo realizar una revisión muy pormenorizada de la historia específica del problema de la inconmensurabilidad y la cantidad inmanejable de literatura secundaria que ha generado; tales revisiones pueden encontrarse en otras partes<sup>3</sup>. Más bien, ofreceré algunas consideraciones acerca de lo que el giro historicista representó en relación con la transición hacia una filosofía naturalizada de las prácticas científicas como la que aquí nos interesa, y mostrar cómo la articulación de un problema tan insigne en filosofía de la ciencia como es el de la inconmensurabilidad dependió mucho de las concepciones subyacentes acerca de la naturaleza de los conceptos y el significado.

Dentro del marco historicista, pero sobre todo de acuerdo con la recepción que tuvo el historicismo en los círculos filosóficos, el cambio conceptual es una consecuencia del cambio teórico. Como Paul Thagard lo esboza: “El cambio conceptual en la historia de la ciencia es cambio de teoría. Los conceptos científicos están incorporados en teorías, y es sólo a través del desarrollo de teorías explicativas con amplio soporte empírico que se vuelve razonable, y de hecho intelectualmente obligatorio, adoptar nuevos complejos de conceptos” (2008, p. 385).

Como se muestra en la cita de Thagard, el soporte empírico de las teorías constituye una razón de peso para elegir adoptar los conceptos que ahí aparecen. Otro de los requisitos para la evaluación racional de los méritos de estructuras conceptuales alternativas será que sus partidarios puedan exponer los méritos de estas estructuras en un lenguaje inteligible para el rival, o que se pueda apelar a un vocabulario observacional neutro al que por lo menos las consecuencias empíricas de las teorías puedan traducirse.

La idea de traducción relevante en la discusión está ligada al tipo de reducción inter-teórica de los positivistas que filósofos historicistas como Feyerabend critican. La reducción o la traducción interteórica, en el sentido de autores positivistas como Ernst Nagel,

---

<sup>3</sup> Una revisión sucinta y bastante completa de la literatura secundaria puede encontrarse en la introducción a Hoyningen-Huene & Sankey (eds.) (2001). Sankey (1994) presenta un extenso análisis del problema así como una solución utilizando las herramientas de la filosofía analítica del lenguaje, en particular la llamada teoría causal de la referencia. Hoyningen-Huene (1993) ofrece quizás la interpretación más orgánica y autoritativa de la obra de Kuhn en su conjunto.



requiere que los significados de los términos que aparecen en los enunciados que representan axiomas, hipótesis o leyes hayan sido fijados de manera inequívoca por reglas codificadas de uso o por procedimientos apropiados para cada disciplina (Nagel, 1979, p. 345).

A decir de Feyerabend, las maneras en que los conceptos científicos adquieren su significado en distintas etapas del desarrollo científico distan mucho de esta imagen en la que el significado queda fijo por una estipulación a partir de reglas. Para Feyerabend, “los conceptos de una teoría pasada no pueden definirse sobre la base de los términos primitivos observacionales de la teoría a la cual se la intenta reducir, ni se pueden encontrar “enunciados empíricos correctos” para correlacionar los términos y conceptos correspondientes” (Feyerabend, 1981a, p. 76). Lejos de entender el significado a partir de relaciones a priori putativas que pudieran plantearse entre enunciados, Kuhn y Feyerabend concebían a los conceptos y sus significados de una manera más cercana a las habilidades adquiridas y desarrolladas en la práctica científica.

A diferencia de lo que en la sección pasada se denominó “una concepción de los conceptos como entidades”, historicistas como Kuhn y Feyerabend trabajan con una noción de los conceptos como habilidades para usar los términos (Arabatzis & Kindi, 2008, p.353). En la filosofía de Kuhn, por ejemplo, los conceptos científicos se adquieren a través de la práctica y la formación profesional, cuando el estudiante de ciencias se familiariza con los ejemplares relevantes de la clase de fenómenos, entidades y situaciones problemáticas con las que se enfrentará en su vida profesional. Este entendimiento del significado como uso es de raíces claramente wittgensteinianas. Poseer un concepto, ser capaz de entenderlo, significa ser capaz de utilizarlo adecuadamente en el contexto normativo de una práctica determinada, o para citar a Wittgenstein: “Comprender un enunciado quiere decir comprender un lenguaje. Comprender un lenguaje significa dominar una técnica” (1986, Sec. 199, p. 81).

En la década de 1970, Kuhn (1970b, 1974/1977) escribió acerca de la formación de categorías y la configuración del espacio perceptual en los agentes que son inducidos a través del aprendizaje a la jerga y al modo de vida de una comunidad. El uso adecuado de los conceptos no está dado por reglas de aplicación rígidas o algo como una definición en el sentido de una lista de condiciones necesarias y suficientes. Las instancias de un concepto no lo son en virtud de la satisfacción de criterios estrictos de membresía, sino por relaciones de similitud/disimilitud con respecto a los ejemplares de la clase o concepto en cuestión.

Pensar en los procesos en los cuales se adquieren categorías y los usuarios de un lenguaje se vuelven capaces de identificar qué clase de objetos son clasificables como miembros del mismo concepto y a la vez son distintos y están separados de clases vecinas, era una manera en la que Kuhn pensó que se podría responder a la pregunta “¿cómo se establece el vínculo entre lenguaje y naturaleza?” (Kuhn, 1970b, 1974/1977). El trabajo de estos artículos sería la base de la reflexión futura de Kuhn acerca de la naturaleza de los conceptos y categorías científicas y en su momento sirvió para elucidar la función principal de su concepto de paradigma entendido como problemas y soluciones ejemplares. De hecho, a decir de Paul Hoyningen-Huene (1993), la transmisión del lenguaje de la comunidad, es decir, la transmisión de su sistema de categorías o taxonomía léxica para usar la jerga del Kuhn tardío, es la principal función de los *ejemplares* en la filosofía de Kuhn.

Los ejemplares kuhnianos incluyen situaciones prácticas concretas donde los científicos noveles resuelven problemas que involucran tanto habilidades manuales en el terreno experimental como lo que podríamos llamar destreza teórica. En este sentido se puede decir que hay habilidades corporizadas y conocimiento tácito en los conceptos científicos dado que se adquieren en la práctica. Después del periodo de adiestramiento, los nuevos miembros de una comunidad científica son capaces de identificar varias situaciones como pertenecientes a la misma clase de problema en virtud de relaciones de similitud, o “parecidos de familia”, cuyo reconocimiento no requiere del uso de reglas y criterios explícitos.

La falta de “rigidez” en la idea de “parecidos de familia”<sup>4</sup> se traduce en una plasticidad cognitiva necesaria para el desarrollo del conocimiento científico, pues las estrategias para atacar un problema novedoso suelen modelarse directamente sobre las soluciones y estrategias que funcionaron en problemas mejor conocidos. Ahora bien, dado que las revoluciones científicas aludidas por Kuhn traen consigo modificaciones importantes en cuanto a los ejemplares y

---

<sup>4</sup> Esta idea de los conceptos como categorías con bordes difusos y entre cuyas instancias existen “parecidos de familia” recuerda también a la teoría prototípica [prototype theory] de las categorías desarrollada por Eleanor Rosch (1975) en el campo de la psicología cognitiva. Rosch estuvo directamente influenciada por la filosofía del Wittgenstein tardío e incluso sostuvo correspondencia con Thomas Kuhn cuando éste se encontraba elaborando sus reflexiones acerca de los procesos de categorización y de adquisición del lenguaje en los contextos científicos (Cf. Andersen, 2012). La teoría del prototipo también influyó en las primeras exploraciones que Nancy Nersessian (1984) realizó sobre la manera más adecuada de entender el significado en las ciencias desde una perspectiva cognitivo e histórica.

modelos de práctica, la condición de Nagel acerca de significados fijos de manera inequívoca por reglas codificadas de uso está lejos de satisfacerse en la historia de la ciencia.

Siguiendo a las reflexiones de Kuhn, un cambio en la práctica, de los ejemplares y procesos de aprendizaje del vocabulario científico traería consigo un cambio en el significado de conceptos científicos centrales. Ahora bien, a pesar de que, como ya hemos planteado, en las propuestas historicistas de Kuhn y Feyerabend se ve ya una manera de entender la relación que existe entre práctica y conceptos científicos, así como la vinculación con factores cognitivos relevantes como los procesos de categorización<sup>5</sup>, hay elementos que sugieren que incluso en su investigación tardía, Kuhn (2000) pretendió aclarar su idea de inconmensurabilidad en un terreno que podríamos identificar todavía como semántico en un sentido más tradicional.

Quizá el entendimiento más difundido de la noción de Revolución Científica en el sentido de Kuhn sea el de “desplazamiento de estructuras conceptuales a través de las cuales los científicos ven el mundo” (Arabatzis & Kindi, 2008, p. 354; *Cf.* Kuhn, 1962/1970, p.102), una idea muy ligada a la del cambio científico como cambio teórico. Si bien el modelo kuhniano de cambio científico podría tener mucho más que decir acerca de las prácticas científicas o de los “paradigmas” como modelos de práctica (*Cf.* Rouse, 2002), ciertamente parte importante de la carrera de Kuhn estuvo dedicada a responder a sus críticos de la tradición analítica que le exigían respuestas en términos de la filosofía del lenguaje de esa tradición. Kuhn atendió a las críticas, pero descuidó los procesos que conducen a la generación y difusión comunitaria de los conceptos.

Así pues, el tratamiento historicista del problema del cambio conceptual en estos autores siguió consistiendo en análisis lingüísticos. A pesar del señalamiento de Kuhn acerca de cómo la relación entre el lenguaje y el mundo se construye a través de la práctica, en otro sentido los conceptos, en tanto categorías, adquieren su significado de acuerdo con las relaciones que mantienen con otros conceptos en una red semántica. El reto filosófico sigue siendo entender la

---

<sup>5</sup> Andersen, Barker & Chen (2006), por ejemplo, continúan explorando la importancia de los procesos de categorización para dar sentido a la idea kuhniana de inconmensurabilidad en el sentido de una discrepancia estructural entre esquemas conceptuales alternativos. Utilizando la idea de marcos dinámicos de Lawrence Barsalou (1992), estos autores han representado la dinámica de los sistemas conceptuales científicos, hablando así de “la estructura cognitiva de las revoluciones científicas”. Este problema de cómo representar conceptos y relaciones semánticas, está sin embargo un tanto alejado de nuestra preocupación por comprender los procesos involucrados en la generación de conceptos y su papel en la evolución de la cognición científica, a pesar de ser también un enfoque cognitivo para comprender el cambio conceptual.

naturaleza del significado y la traducción. Las soluciones propuestas a este problema provinieron principalmente de la filosofía del lenguaje de la época, no de un análisis de la ciencia misma. Como mencioné en la introducción, en este sentido podría decirse que un problema surgido como consecuencia de un análisis histórico de la ciencia trató de resolverse de una manera inusualmente ahistórica.

La explicación tardía de Kuhn (2000) al fenómeno de la inconmensurabilidad tuvo que ver con las relaciones de compatibilidad o incompatibilidad estructural entre estructuras conceptuales o léxicos científicos compuestos por términos de clase con el tipo de características arriba discutidas. En este modo de proceder puede leerse una manera muy particular de entender la reflexión filosófica acerca de la ciencia como separada del trabajo propiamente historiográfico. La siguiente cita de Arabatzis & Kindi, puede ayudar a aclarar mi punto:

Kuhn ahora habla de dos léxicos “utilizados en dos momentos ampliamente separados” (Kuhn, 2000, p. 87), dejando a un lado y en las sombras los procesos que hicieron a estos léxicos posibles y a través de los cuales surgieron. El filósofo estudia dos estructuras taxonómicas congeladas y distantes en el tiempo, intentando detectar congruencia, compatibilidad y traslape donde el historiador puede tratar de descubrir los micro-procesos mediante los cuales el cambio se efectúa y que tienen lugar entre los períodos transicionales (2008, p.363).

Autores como Nancy Nersessian y David Gooding, al igual que historiadores de la ciencia con inclinaciones filosóficas, intentaron seguir más de cerca la recomendación historicista y naturalista de que una filosofía de la ciencia debería encontrar su asidero principal en un examen concienzudo de la práctica científica y su historia. Nersessian y Andersen, por ejemplo, sugieren que la formación de conceptos debe entenderse en el contexto de situaciones problemáticas en evolución cuando señalan que:

investigaciones históricas establecen al cambio conceptual como un proceso de resolución de problemas que está extendido en el tiempo, es de naturaleza dinámica y se encuentra embebido en contextos sociales. Los nuevos conceptos no emergen completos de la cabeza de los científicos, sino que son construidos en respuesta a problemas específicos mediante razonamiento sistemático (1997, p.113).

Un entendimiento histórico de los conceptos también consiste en la comprensión de los procesos de razonamiento y los recursos cognitivos involucrados en su producción. Una concepción situada y naturalizada del desarrollo conceptual y el razonamiento constituye también una forma de hacer frente al famoso problema de la racionalidad del cambio científico, que es en cierto sentido un producto de los análisis que se limitan a comparar los estadios iniciales y finales de un determinado periodo de la historia de la ciencia. Si uno realiza un análisis más fino de este proceso tal problema desaparece. Como Arabatzis y Kindi (2008, p. 365) señalan, los científicos reales nunca se encontraron ante la situación en la que tuvieran que comparar y elegir entre la mecánica newtoniana y la teoría de la relatividad, por ejemplo. Tal transición fue más bien un proceso gradual y razonado.

La siguiente sección explora el trabajo de algunos autores que trataron diferentes versiones de la pregunta ¿cómo se han construido el significado y los conceptos en el devenir histórico real de la ciencia y qué puede decirnos esto para fines de nuestras teorías acerca del significado científico? Las respuestas de estos autores nos alejan más del problema original del significado y nos acercan a un marco de análisis más integral en el que se observa a la creación de conceptos como un punto importante para el desarrollo de la cognición científica.

### **1. 3. ¿Cómo se crean los conceptos científicos? Entender las prácticas y procesos cognitivos que conducen a la innovación conceptual**

A pesar de que el llamado “giro historicista” en filosofía de la ciencia ciertamente reconfiguró la manera en la que se entendió el cambio conceptual en la literatura filosófica, no deja de llamar la atención la falta de protagonismo que tuvo el análisis histórico para tratar y explorar esta cuestión. Quizás debido a la influencia innegable que el positivismo siguió teniendo en los filósofos post-positivistas de la ciencia, este problema se siguió tratando esencialmente como una cuestión del lenguaje.

Ya en la década de 1980, y después de una plétora de diferentes respuestas, críticas y ataques a la noción de inconmensurabilidad, autores como Nancy Nersessian y David Gooding trataron el problema del cambio conceptual y del significado en las ciencias desde un enfoque histórico quizás más radical que el de algunas de las luminarias del giro historicista. Lejos de ofrecer una comparación de dos estructuras lingüísticas y conceptuales tenidas por incompatibles

o intraducibles, Gooding, Nersessian entre otros autores ofrecieron un análisis más situado que permitiera comprender mejor los procesos involucrados en la creación y el desarrollo de los conceptos científicos.

La importancia de estos procesos y la idea del desarrollo histórico de la ciencia como un tipo de desarrollo cognitivo (Nersessian, 1992, 1995) desplazaron la atención desde el problema del significado hacia la búsqueda de un enfoque integrativo que conjunta estudios históricos con estudios cognitivos sobre ciencia. En esta sección se presentarán algunas de las maneras en las que se ha pretendido explotar esta relación en filosofía de la ciencia, lo que nos proveerá de un marco para trabajar cuestiones como el carácter artefactual de los conceptos y el potencial modificador que tienen para los entornos cognitivos científicos. Empezaremos por discutir el desplazamiento de la cuestión del significado.

Nersessian (1984) ofrece un diagnóstico sucinto de los errores que se han cometido en el abordaje del problema del significado en la ciencia. A decir suyo, el error fundamental en el abordaje del problema de la naturaleza del significado en la filosofía de la ciencia del siglo XX radica en la creencia de que un análisis de las necesidades y la naturaleza del lenguaje es por sí solo suficiente para la formulación de un entendimiento adecuado de la naturaleza del significado en las teorías científicas (Nersessian, 1984, p. 4). En palabras textuales de la autora:

El giro lingüístico en filosofía ha convertido, erróneamente, a las respuestas al problema del significado en las ciencias en parasitarias con respecto a los desarrollos en filosofía del lenguaje, alejando por lo tanto a la filosofía de la ciencia de su objeto de estudio: la ciencia. [...] Cualquier teoría del significado adecuada para la ciencia ha de estar firmemente cimentada en un examen de las prácticas científicas concernientes al significado (Nersessian, 1984, p. 4).

Así pues, este tipo de enfoque naturalizado destaca más la importancia de la práctica y los procesos. Gooding (1990), es otro autor que ha criticado la preponderancia de los enfoques filosóficos centrados en la teorías y reconstrucciones racionales. Tanto Gooding como Nersessian piensan que una comprensión realista de la actividad científica sólo vendrá una vez que consideremos los procesos involucrados en la creación de las palabras y conceptos de los que gustan discutir los filósofos. Los enfoques semánticos usados para analizar teorías (lo que Gooding llama una filosofía “literaria” de la ciencia) dejan de lado la dimensión práctica,

procedimental, inventiva e informal distintiva del trabajo científico real (Gooding, 1990, p. xi). Este énfasis en la naturaleza procedimental, y práctica del conocimiento científico implica también una revaloración de la agencia y habilidad humana en la exploración y construcción de resultados e innovaciones tales como la creación de un nuevos conceptos.

Entre las décadas de 1980 y 1990, Nersessian y Gooding estudiaron el desarrollo que el concepto de campo electromagnético tuvo en la física del siglo XIX al siglo XX. Los estudios se centran en el trabajo de físicos como Michael Faraday, James Clerk Maxwell y Albert Einstein. Gooding se concentra especialmente en la práctica experimental de Faraday y en el diálogo que éste sostuvo con sus contemporáneos. Lo metodológicamente destacable aquí es la manera en que estos autores desarrollan sus teorías acerca del cambio científico a partir de estudios de caso ricos en detalle y matices. Esta es una manera distinta de trabajar con la historia de la ciencia en filosofía, pues se piensa a partir de ésta, y no sólo se la considera una fuente de evidencia con la cual contrastar teorías filosóficas acerca del desarrollo científico.

En esta época, Nersessian (1984, cap. 7, 1995) distinguía entre los estudios cognitivos sobre las prácticas teóricas, como ella los llamaba, y los estudios de la práctica experimental en la ciencia como es el caso de Gooding, aunque reconocía la necesaria complementariedad de ambos tipos de estudio. En los enfoques de Nersessian y Gooding encontramos varios aspectos comunes que discutiremos a continuación, a saber:

1. Que las innovaciones conceptuales se dan siempre en contextos problemáticos donde los recursos materiales y cognitivos disponibles posibilitan y constriñen el avance de la investigación.
2. Que el desarrollo de soluciones provisionales a los problemas representacionales dependen de recursos cognitivos como el razonamiento por analogías y el razonamiento a partir de imagería y otros recursos visuales.
3. Podemos pensar en los estadios intermedios del desarrollo conceptual (y en los recursos cognitivos que los acompañan, como el desarrollo de modelos o intervenciones experimentales) como especies de andamiajes cognitivos que abren rutas y posibilidades de exploración en la búsqueda de soluciones más adecuadas y conceptos más robustos.

4. Que la construcción y articulación de conceptos es generalmente un proceso de razonamiento colectivo.

En relación con el primer punto, ya en su monografía de 1984, Nersessian destacaba como la historia del desarrollo conceptual era en realidad la historia de los científicos tratando de resolver el problema de cómo representar y entender ciertos fenómenos, como el problema de la transmisión de fuerzas en el espacio en el caso de la investigación electromagnética. En este sentido, los conceptos de la ciencia son invenciones que tienen por objetivo la solución de este tipo de dificultades, de ahí que tengamos mejor oportunidad de comprender sus significados si atendemos a las prácticas reales de su construcción (Nersessian, 1984, p. xi).

La pregunta clave para Nersessian es entonces ¿cómo es que se crean los conceptos científicos? La propuesta de pensar en los conceptos como creaciones y en el significado como una construcción (“Experiment and the making of meaning” es el título del libro de Gooding) pudiera identificar a estos estudios con el tipo de “constructivismo social” o relativismo como el atribuido a algunos autores en los estudios sociales sobre ciencia. Sin embargo, tanto Gooding como Nersessian trataban de articular una posición que en su momento era difícil matizar adecuadamente dada la dicotomía entre posiciones realistas y constructivistas sobre la ciencia.

Gooding decía de su enfoque, por ejemplo, que asume “la *complementariedad* de cabeza y manos, de la teoría y el experimento, de la naturaleza y la cultura” (Gooding, 1990, p. 270, cursivas en el original), al mismo tiempo que buscaba mantener una distancia apropiada respecto a posturas populares en filosofía de la ciencia como el realismo convergente, el materialismo, el idealismo o el relativismo (Gooding, 1990, p. 270). Por su parte, Nersessian presentó a su postura en un inicio bajo el rótulo de “enfoque histórico-cognitivo” (e.g. sus 1987, 1992, 1995) y en publicaciones más recientes aboga por un enfoque integrativo o ecológico que considere la dimensión cognitiva, social, y cultural de las prácticas científicas (Nersessian, 2005, 2006, 2008).

El foco de la cuestión del cambio conceptual ya no tiene que ver con la comparación de estructuras abstractas, sino con con el tipo de recursos o mecanismos cognitivos que subyacen a la innovación y al cambio conceptual. Estos recursos no son fundamentalmente distintos a los de la cognición ordinaria, por lo que la reflexión filosófica acerca del desarrollo histórico de los



conceptos bien puede nutrirse de la extensa literatura empírica proveniente del campo de las ciencias cognitivas.

La construcción de conceptos es un asunto de razonamiento sistemático situado históricamente. Estas prácticas de razonamiento tienen que ver con la implementación de estrategias y recursos cognitivos tales como el uso de analogías, la representación visual y la realización de experimentos mentales. Este tipo de procesos cognitivos habían sido largamente excluidos de la reflexión filosófica dado el espíritu antinaturalista y antipsicologista de los positivistas lógicos. Para autores como Gooding y Nersessian, una teoría adecuada del significado científico ha de ser capaz de decir de los conceptos y sus instancias: ¿qué son? ¿qué hacen? ¿cuál es su estructura (matemática, por ejemplo, como en el caso de los conceptos de la física)? ¿cuál es su poder causal, i.e., cuáles son sus efectos?, etc.

Tanto Gooding como Nersessian destacan la naturaleza heurística del razonamiento en ciencias. Su estudio cognitivo de la historia del concepto de campo muestra, por ejemplo, que las diferentes construcciones, representaciones provisionales del fenómeno electromagnético actúan como guías para el razonamiento, como caminos plausibles para la exploración del fenómeno y como maneras provisionales de concebir a las fuerzas electromagnéticas actuando en un medio.

El uso de analogías y la construcción de representaciones y modelos visuales como las famosas líneas de fuerza de Faraday, la construcción de modelos mentales e intervenciones experimentales, han mostrado ser particularmente importantes en este proceso de articulación conceptual. Como Gooding señala: “Los campos emergieron primero como marcos para la práctica observacional e interpretativa. El campo emergió como el concepto central de una explicación teórica de estas prácticas, facilitando una plataforma para la teoría y la experimentación futura” (Gooding, 1990, p. 270-1).

Antes de cerrar el capítulo es necesario decir algo más acerca de en qué sentido el proceso de articulación e innovación conceptual es un proceso social. La importancia de la agencia y las habilidades prácticas y experimentales para el desarrollo de la cognición en un ambiente social son elementos que destacan más en el trabajo de Gooding que en el de Nersessian. Gooding destaca, por ejemplo, la importancia del intercambio entre la comunidad de

investigadores del fenómeno electromagnético, y de la difusión de técnicas y procedimientos y no sólo la de conjeturas u opiniones teóricas. En palabras del autor:

Faraday inventó procedimientos para provocar y representar nuevos efectos. Estos procedimientos construyeron correspondencias entre palabras, imágenes y nuevos referentes que las prácticas volvieron observables. Faraday no descubrió correspondencias como relaciones ya dadas entre el concepto de alguna cosa (en la realidad) y la percepción que el concepto denota. La relación-significado depende de *la invención y diseminación de procedimientos*. Su significado depende, a su vez, de *habilidades prácticas compartidas* a la vez que de asunciones compartidas (Gooding, 1990, p. 255, mis cursivas).

Y en relación con la comunidad de investigadores:

Observadores y teóricos como Davy, Biot, Ampere, Faraday y Thomson dominaron los procedimientos que posibilitaron que otros comprendieran lo que ellos enviaban desde las fronteras, sin tener que viajar, sin guía, a través de terreno extraño. Su contribución a la física de campos no fue, después de todo, el develamiento de ‘hechos’ duros y novedosos descritos en un lenguaje observacional neutro, sino el descubrimiento de nuevas representaciones que encarnaban nuevas prácticas que preservaban los aspectos más sugerentes de nuevos fenómenos (Gooding, 1990, p. 270).

La investigación tiene un carácter indudablemente comunitario. Las nuevas consideraciones o exploraciones toman en cuenta el trabajo de los otros y lo usan como guía. No se trata meramente de una discusión verbal dónde hay que refutar al adversario. Al final, el desarrollo conceptual no es sino la creación, prueba, refinamiento y sucesión de prácticas y recursos que auxilian al razonamiento científico comunitario acerca de un fenómeno o problema determinado: La historia del razonamiento que llevó a la construcción de un determinado concepto es una parte esencial de su significado, y el significado de los conceptos científicos no puede entenderse independientemente de esta historia. Esta es también una intuición que han desarrollado autores desde la llamada epistemología histórica. En el siguiente capítulo se discutirán algunas ideas de esta tradición que conectan el surgimiento y desarrollo de los conceptos científicos con prácticas experimentales, destacando su dimensión operativa e histórica y alejándonos de los enfoques de una filosofía formal y de una historia meramente intelectual de la ciencia.

## **Conclusiones del capítulo**

En este capítulo presenté una revisión de por lo menos tres maneras diferentes de entender el cambio conceptual como un problema dentro de la filosofía de la ciencia. Esta revisión permite apreciar una transición paulatina desde el estudio de las teorías científicas entendidas como estructuras lingüísticas o conjuntos de enunciados, al problema de la variación del significado de los conceptos en la historia de la ciencia y las implicaciones de este fenómeno para la racionalidad del cambio científico.

En ambas posturas operan diferentes concepciones del significado y diferentes actitudes respecto a la consideración de factores psicológicos o cognitivos para entender el desarrollo científico. Los positivistas trabajaron con una concepción del significado como una entidad, de tipo mental por ejemplo, y mantenían en lo general una actitud antipsicologista. Autores historicistas como Kuhn y Feyerabend entendieron el significado según la fórmula wittgensteiniana del significado como uso, y prestaron atención a los procesos de adquisición del lenguaje, así como a los procesos de categorización en la ciencia. Sin embargo, la dirección que Kuhn tomó en su último trabajo sobre la inconmensurabilidad se limitó a un análisis de estructuras conceptuales alternativas por medio de este tipo de teoría de los conceptos y el significado, descuidando los procesos históricos específicos que conducen a la creación de los conceptos científicos.

En la última sección presenté una visión panorámica del trabajo de Gooding y Nersessian, autores que tomaron en serio la recomendación historicista de pensar filosóficamente siempre a partir de la historia de la ciencia. Las reflexiones de Nersessian y Gooding acerca de los conceptos siempre parten de estudios de caso pormenorizados en los que se consideran los contextos problemáticos en los que se desarrollan los conceptos, así como los aspectos cognitivos y prácticas de razonamiento involucradas en este proceso. Siguiendo a Nersessian, llamaremos a este un enfoque histórico-cognitivo para tratar el cambio conceptual.

Estas últimas consideraciones nos dejan en posición de explorar en los siguientes capítulos en qué sentido los conceptos pueden ser considerados como entes históricos, y en qué sentido esta historia multidimensional (social, cognitiva, etc.) puede informarnos acerca del

papel y la relevancia del desarrollo conceptual para el desarrollo histórico de la cognición científica.

## **Capítulo 2. De la historicidad de los conceptos científicos: una mirada desde la epistemología histórica de Georges Canguilhem**

Este capítulo ofrece algunas perspectivas acerca de la historicidad de los conceptos científicos desde la llamada epistemología histórica. Al hablar de las trayectorias históricas de los conceptos científicos, los autores de esta corriente nos ofrecen un entendimiento de los conceptos, no como entidades descarnadas e ideales, sino como productos culturales, i.e., creaciones cuya comprensión demanda un estudio de las condiciones históricas, sociales, técnicas y culturales de su producción. Situar históricamente los conceptos, identificar sus condiciones de producción y seguir sus trayectorias nos da una mejor idea acerca del rol que éstos juegan en la producción del conocimiento científico y en la evolución de la cognición científica.

### **Introducción: La historicidad de los conceptos desde la epistemología histórica y el giro hacia la práctica**

De entre las características atribuidas al llamado giro historicista en filosofía de la ciencia, destacamos en el capítulo anterior la atención a los procesos (psicológicos y sociales, por ejemplo) que llevaron a la producción de las teorías, conceptos y estructuras cuyo análisis era favorecido por los filósofos positivistas. En otras palabras, los filósofos historicistas abogaron por una revaloración de la importancia epistemológica del llamado contexto de descubrimiento para la filosofía de la ciencia al defender su estudio histórico. De este modo, la historia de la ciencia se presenta como una manera de relacionarnos con la realidad científica, más allá de las reconstrucciones racionales y modelos formales de la ciencia. Otro de los aspectos importantes en este cambio de enfoque es la preponderancia que adquiere la concepción de la ciencia como una práctica o actividad, por encima de la idea de la ciencia como un cúmulo de conocimiento estático (Cf. Pickering, 1992). A partir de la concepción de la ciencia como práctica, se explorará

una perspectiva histórica que recupere las relaciones entre los conceptos, las prácticas y contextos materiales y experimentales específicos en las que los conceptos se producen y desarrollan.

Argumentaré que el papel transformador que tienen los conceptos para el desarrollo posterior de las prácticas y ambientes cognitivos en los que surgen se deja ver mejor a través de su historia. Esta visión de los conceptos como entidades históricas relacionadas con ambientes cognitivos reales y concretos, atiende la crítica al tratamiento historicista acerca del problema del cambio conceptual que se presentó en el capítulo pasado. Para tal fin, prestaré atención a la historia epistemológica de la ciencia de Georges Canguilhem (Canguilhem, 1977, 2008a, 2008b, 2008c), y a la lectura que autores contemporáneos (*e.g.* Méthot, 2013; Rheinberger, 2005; Schmidgen, 2014) obtienen de su obra, como un ejemplo ilustrativo de un tratamiento histórico de los conceptos que muestra conexiones interesantes con el desarrollo de la práctica científica.

Canguilhem destacaba la importancia de las prácticas experimentales para la generación de conceptos. En la posterior influencia que tienen los conceptos para la práctica teórica y experimental futura se ve, en mi opinión, el potencial cognitivo de los conceptos científicos como un tipo especial de artefacto cognitivo. Para Canguilhem, la marca distintiva de los “auténticos conceptos biológicos” es su potencial operativo e instrumental que permite abrir nuevas rutas de investigación experimental.

Así pues, en lugar de la visión tradicional de los conceptos como ítems lingüísticos o entidades mentales, una visión históricamente situada de los conceptos científicos muestra a los conceptos como íntimamente relacionados con prácticas (experimentales, por ejemplo), contextos sociales y culturales. Desde esta perspectiva, los conceptos son filosóficamente interesantes dadas las posibilidades de acción que brindan en la práctica. Más que cosas en la cabeza de investigadores individuales, los conceptos adquieren el carácter de herramientas confeccionadas a partir de la actividad colectiva de los científicos, cuyo uso es relevante en la tarea de exploración experimental y la generación de nuevo conocimiento.

## 2.1. La historia de los conceptos de Georges Canguilhem

El historiador de la ciencia Georges Canguilhem proviene de una tradición historiográfica y de pensamiento filosófico acerca de la ciencia que él mismo y otros autores concibieron como una historia de los conceptos científicos. Este tipo de historia o filosofía del concepto, que “trata de entender las ciencias examinando la historia de sus conceptos y las normas que gobiernan su uso” (Hyder, 2010, p. 179) se presentaba como una crítica o contrapeso a las filosofías centradas en el sujeto y la conciencia.

Las teorías del conocimiento afines a este último enfoque buscaban fundamentar el conocimiento y su estructura en la arquitectura cognitiva de un sujeto como el sujeto trascendental kantiano o en operaciones fundamentales de la conciencia para usar términos de la fenomenología husserliana. En otras palabras, “las filosofías trascendentales de la ciencia buscan justificar sus normas lógicas y metodológicas al derivarlas de actos fundacionales de la conciencia” (Hyder, 2010, p. 178).

En contraste con el enfoque anterior, una filosofía del concepto reconocía el hecho de que conceptos centrales de las ciencias contemporáneas, que incluso han llegado a formar parte del discurso e imaginario cotidianos, tienen un origen en épocas remotas distintas a las actuales. La idea es que más que buscar las condiciones de posibilidad de nuestros conceptos en la estructura primigenia y ahistórica de la conciencia o el sujeto trascendental, habría que preguntarnos por las condiciones históricas precisas que hicieron posible que determinados conceptos surgieran y que formaran parte de un discurso con pretensiones científicas o de verdad (Hyder, 2010, p. 181). La predilección por este tipo de historia conceptual está presente, además de en Canguilhem, en otros pensadores franceses como Gaston Bachelard, quien ve a la historia de la ciencia como un proceso constante de formación y rectificación de conceptos en la búsqueda por superar determinados obstáculos epistémicos (Méthot, 2013, p. 116), y en el trabajo arqueológico de Michel Foucault por citar a los ejemplos más célebres.

El énfasis en los procesos de modificación y rectificación en la genealogía de un concepto se distingue de una historia presentista de la ciencia en que aquí no se pretende mostrar cómo las etapas imperfectas y los errores del pasado dirigen inexorablemente a una respuesta correcta o definitiva representada por el concepto en su forma “completa” o actual. Señalar la

historicidad de la ciencia y sus conceptos es también señalar su carácter procesual, y en esta línea de pensamiento histórico el trabajo de Canguilhem nos interesa particularmente dada la conexión que establece entre la práctica experimental y la formación y rectificación de conceptos.

Contrariamente a una cierta imagen recibida de la obra de Canguilhem como un historiador filosófico que lidia con genealogías de conceptos descarnados, es decir, conceptos concebidos como entidades abstractas que pertenecen al mundo de las ideas y las cosmovisiones, una lectura más cuidadosa de su obra y las interpretaciones recientes dan cuenta de la centralidad de las prácticas científicas reales en el tipo de historia del concepto que a Canguilhem le interesaba (Méthot, 2013, p.115).

En la historia epistemológica de Canguilhem se destacan las interacciones y potencialidades que rodean a los conceptos en las diferentes etapas de su desarrollo. Asimismo, este tipo de historia exhibe cómo los contextos problemáticos, prácticos y materiales en los que se desarrollan los conceptos cambian y evolucionan junto con los conceptos. Esta manera de entender la historicidad de los conceptos puede tomarse como modelo para estudiar a los conceptos científicos también desde una perspectiva cognitiva. Mi valoración de la historia conceptual de Canguilhem comienza con la relación entre conceptos y experimentación en biología.

## **2.2. Conceptos científicos y prácticas experimentales**

La obra de Canguilhem explora cómo los aparatos científicos, las innovaciones tecnológicas, y los instrumentos de laboratorio intersectan en la producción de conocimiento médico, y en la producción de nuevas normas de la vida dentro de contextos conceptuales y experimentales (Méthot, 2013, p. 117). De entre las peculiaridades del trabajo en las ciencias biológicas, Canguilhem destaca cómo “las funciones biológicas sólo pueden ser descubiertas a través de la experimentación” (Canguilhem, 2008a, p. 6). En disciplinas como la fisiología, la experimentación, es decir, la intervención de los cuerpos vivos, es un modo privilegiado de razonamiento y especulación. Así pues, el desarrollo y de técnicas como la vivisección animal forman parte de las condiciones históricas de posibilidad para la formación de conceptos biológicos (Canguilhem, 2008a, p. 6, 16).

Conceptos biológicos importantes como el de “ambiente interior” (*milieu intérieur*), acuñado por Claude Bernard y que refiere al ambiente constituido por el fluido que rodea a las células de cualquier organismo multicelular, así como a su capacidad para asegurar la estabilidad y protección de los tejidos y órganos del organismo, se formaron en el curso de la investigación experimental (Méthot, 2013, p. 119). La aparición del concepto de ambiente interior se considera un momento inaugural en la práctica y el desarrollo de la fisiología experimental.

El concepto del ambiente interior permitió a los científicos pensar las funciones de los órganos al interior del organismo en la imagen de las funciones de los organismos en el ambiente exterior. A decir de Canguilhem, esto permitió extraer conceptos e ideas básicas para la experimentación y la explicación biológica desde el ámbito de la experiencia práctica de los seres humanos (2008a, pp. 7-8), sin mencionar que la noción de ambiente (*milieu*) fue importada desde la mecánica de Newton, y fue adquiriendo significaciones propias en la biología (Canguilhem, 2008b).

Para establecer una biología experimental, dice Bernard, es necesario concebir un *ambiente interior* creado por cada organismo, un ambiente propio de cada organismo. El ambiente interior es el auténtico ambiente fisiológico: “estudiar a un ser vivo en condiciones experimentalmente construidas es construir un ambiente [*milieu*] para él, es imponerle un ambiente; sin embargo, es característico de los seres vivos el construir su ambiente por cuenta propia, el componer su ambiente” (Canguilhem, 2008b, p. 111). El ambiente interno funcionó como una suerte de fundamento para la experimentación en biología, y al mismo tiempo son los experimentos los que dan al concepto mayor concreción y articulación. El concepto de ambiente interior no se deduce de una teoría que lo defina exhaustivamente. Parte de su significado surge de la investigación y los resultados experimentales previos acerca de las secreciones internas, o del descubrimiento experimental, por parte de Bernard, de la función glucogénica del hígado, por ejemplo.

En biología, nos dice Canguilhem, “la cuestión no es usar conceptos experimentales, sino *constituir experimentalmente auténticos conceptos biológicos*” (2008a, p. 6, mis cursivas). A decir de Rheinberger, “para Canguilhem, el concepto de ambiente interior marca un momento crucial en la historia de las ciencias de la vida que está también conectado con un nuevo espacio de experimentación” (2005, p. 193). Y más aún: “Los conceptos y los métodos, todo es una



función del dominio de experimentación” (Canguilhem, 2002, p. 148 citado en Rheinberger, 2005, p. 194).

La historia del concepto de ambiente interior sugiere una suerte de relación dialéctica entre la configuración del concepto y las transformaciones del espacio experimental. Por una parte, el concepto parece ser un antecedente de las técnicas experimentales y al mismo tiempo el concepto puede ser reconfigurado a través de la experimentación y la implementación de estas técnicas. El concepto de ambiente interior “es dado como fundamento teórico de la técnica de la experimentación fisiológica” (Canguilhem, 2002, p. 148, citado en Rheinberger, 2005, p. 194), y a su vez, “la experimentación *in vitro* de la bioquímica y la enzimología del siglo XX convertirán entonces al ambiente interior mismo en un objeto de investigación intensiva, y eventualmente lo someterán a una reconfiguración profunda” (Rheinberger, 2005, p. 194). El ambiente interior se introduce como una entidad teórica sin contar con una teoría que lo defina. Los experimentos son lo que terminará por caracterizar al concepto de espacio interior.

Los procesos de desarrollo conceptual son procesos de corrección y rectificación constante y en los casos históricos aludidos por Canguilhem esta rectificación es en buena medida un proceso experimental. Un auténtico concepto biológico es “uno cuya elaboración es a la vez un efecto y una causa de la experimentación” (Canguilhem, 2008a, p.7), o, en otras palabras:

La experimentación biológica, procedente de la técnica, está, por lo tanto, primeramente guiada por conceptos que son instrumental y literalmente artificiales. Sólo después de una larga serie de obstáculos superados y errores reconocidos, comenzó el hombre a sospechar y reconocer el carácter autopoietico de la actividad orgánica y a rectificar progresivamente, en contacto con los fenómenos biológicos, los conceptos guía de la experimentación (Canguilhem, 2008a, p. 9).

El trabajo de Canguilhem acerca de la historia del concepto de reflejo (Canguilhem, 1977; *Cf.* Schmidgen, 2014) o de la diada conceptual entre lo normal y lo patológico (2008c) en ciencias de la vida reconoce a las prácticas experimentales como esenciales para los recién mencionados procesos de rectificación conceptual. Otra manera de plantear esta idea es pensar en el laboratorio científico (también en las ciencias físicas) como el sitio de producción de los conceptos científicos.

### **2.3. Sistemas experimentales y operacionalización de conceptos**

Más allá de los confines de la historia intelectual, una genealogía de los conceptos científicos à la Canguilhem tiene por objetivo recuperar el carácter procesual y abierto de la investigación y los productos científicos, así como destacar la importancia de los entornos materiales y técnicos para el desarrollo del conocimiento. Planteando un paralelismo con la obra de Hans-Jörg Rheinberger (1997), es en el contexto de los sistemas experimentales que diversos fenómenos se constituyen como objetos de interés científico o cosas epistémicas. Dada la importancia que tienen los contextos técnicos y experimentales para el desarrollo de conceptos y la guía heurística que proveen en la exploración experimental de los fenómenos, los procesos de configuración y exploración de cosas epistémicas y la creación experimental de conceptos en el sentido de Canguilhem se vuelven procesos difíciles de distinguir. En esta sección se discutirán algunos de los sentidos en los que los sistemas y arreglos experimentales son factores relevantes en la configuración experimental de los conceptos científicos.

Desde el enfoque de Canguilhem, los conceptos biológicos no sólo se producen experimentalmente, sino que son también generadores de prácticas y experimentos, y en ello radica su valor epistémico y cognitivo. Dicho de otra forma, “los conceptos son el resultado de espacios de experimentación recién inaugurados y los conceptos fomentan a la vez el desarrollo de nuevas formas de práctica. Esta relación de dar y recibir entre la construcción de un concepto y el arreglo experimental en el que se encuentra embebido abre nuevas formas de experimentación y a la inversa” (Méthot, 2013, p. 119).

En el proceso de configuración experimental se da un acoplamiento entre concepto, herramientas y procesos, es decir, los conceptos se operacionalizan. Los conceptos se vuelven, por así decirlo actores o agentes en el laboratorio. Estos agentes, “vinculados con instrumentos científicos y otros aparatos, son capaces de producir percepciones- una característica que, sin embargo, no anticipa el valor científico de los conceptos en cuestión” (Schmidgen, 2014, p. 234). Según la lectura que Schmidgen hace de Canguilhem, “el valor científico del concepto no se deriva de las posibilidades para conectarlos con instrumentos, sino del número de perspectivas de investigación que abre y sugiere” (2014, p. 238). La operacionalización o instrumentalización de un concepto refiere a la inclusión de aparatos y tecnología en su biografía, y al mismo tiempo

refiere al potencial para poder hacer algo con él. Por eso son estas nuevas posibilidades en la práctica la marca de un “auténtico concepto biológico” en el caso de Canguilhem.

Los conceptos, de manera muy similar a otros tipos de artefactos usados en el trabajo científico, amplían las posibilidades de acción y las potencialidades cognitivas de los investigadores. Incluso podría plantearse que los conceptos son maneras de coordinar las acciones, es decir, que los conceptos sugieren formas de interacción entre investigadores e instrumentos. Siguiendo a Méthot, podemos pensar a Canguilhem como formando parte de una tradición que concibe a los conceptos como “herramientas” que son “usadas junto con los instrumentos y otras clases de aparatos científicos para intervenir en el mundo, y que, como tales, [los conceptos] *amplían la esfera de la acción y el pensamiento humano*” (2013, p. 120, *mis cursivas*). Este punto puede ilustrarse también con ejemplos fuera del campo de la biología.

Steinle (2010) alude, por ejemplo, al establecimiento del concepto de polaridad eléctrica a través del trabajo del físico y químico francés Charles Dufay en el siglo XVIII. El concepto de polaridad describe los fenómenos de atracción y repulsión observados en los cuerpos electrificados. Este concepto fue articulado a partir de observación y exploración experimental minuciosa de las condiciones materiales en las que se producen la atracción o la repulsión de objetos bajo el influjo eléctrico. Este concepto, que sugiere una suerte de naturaleza dual de la electricidad, permitió la formulación de nuevas generalizaciones y la comprensión y organización de experimentos que antes parecían fenómenos dispares o inconexos (Steinle, 2010, p. 204).

El concepto de polaridad eléctrica sugirió nuevas maneras de investigar los fenómenos eléctricos, así como nuevas maneras de diseñar, evaluar y conducir experimentos. A decir de Steinle, todo esto fue imposible hasta la aparición del concepto. Con el concepto de polaridad eléctrica ya en su sitio, “nuevas preguntas fueron requeridas y así surgieron preguntas que previamente habrían sido simplemente inconcebibles porque las propias categorías en esas preguntas no existían. Para cualquiera que adoptara la nueva conceptualización -y por el momento ese alguien fue sólo el propio Dufay- el campo de la electricidad parecerá completamente transformado” (Steinle, 2010, p. 205).

Otro caso del que ya se hablaba en el capítulo anterior es el del concepto de líneas de fuerza de Faraday y la influencia de éste en el entendimiento y la investigación acerca de los fenómenos electromagnéticos. El concepto de ‘líneas de fuerza’ de Faraday, que refería a la acción propagada en el espacio alrededor de cargas y fuentes magnéticas, guió su programa de investigación e influyó directamente en su diseño de experimentos para la detección de movimientos semejantes a los representados por Faraday en sus diagramas (Gooding, 1990; Nersessian & Arabatzis, 2015, p. 228; Nersessian, 1984).

En los estudios de casos históricos (de las ciencias biológicas y físicas, por lo menos) se aprecia que los conceptos no sólo representan lo observado, sino que también hacen visibles ciertos objetos o fenómenos. Los conceptos científicos producen realidades y percepciones y estimulan la actividad futura (Schmidgen, 2014, p. 238). De vuelta al trabajo de Canguilhem, un concepto como el de “reflejo” en fisiología existe porque da existencia a los objetos o fenómenos que hace perceptible. Estas percepciones son a su vez posibilitadas por los sistemas técnicos y experimentales que se articulan alrededor de nociones como la de reflejo. Por eso el éxito instrumental es crucial para la aceptación y la supervivencia de un nuevo concepto.

La supervivencia de un concepto señala su conveniencia, utilidad o fertilidad. Los ejemplos de desarrollo conceptual aquí aludidos pudieran ubicarse perfectamente en la literatura acerca de experimentación exploratoria, o, en términos más generales, en la literatura acerca de las prácticas investigativas en la ciencia (Cf. Feest & Steinle, 2012). A continuación se dirá algo más acerca del potencial heurístico de los conceptos como guía en contextos de investigación exploratoria.

#### **2.4. Conceptos como guía en contextos experimentales**

La historicidad de las prácticas y los conceptos no se agota en una reconstrucción de su pasado, sino también en la proyección y evolución que los conceptos y los sistemas experimentales tienen a futuro. Los conceptos permiten identificar y clasificar fenómenos, y dirigen la atención de los investigadores hacia las nuevas clasificaciones. Es en este proceso de constante rectificación que los conceptos exhiben su potencial como guías o estrategias heurísticas. Como Schmidgen lo plantea, “los conceptos marcan o designan preguntas auténticas. Pueden apuntar a

primeras respuestas, pero siempre estarán sujetos a examinación y revisión subsecuente” (2014, p. 247).

Concebir a los conceptos y sus diferentes fases como especie de andamios en el proceso de investigación y generación de comprensión acerca de la naturaleza (comprensión que implica también la intervención y modificación del ambiente, así como la construcción de nuevos aparatos y el desarrollo de técnicas), nos permite apreciar mejor la naturaleza dinámica de la investigación científica y sus productos.

Si bien Canguilhem, no articuló él mismo una teoría general acerca de los conceptos científicos, reconstrucciones contemporáneas de una teoría tal señalan aspectos que son de interés para la discusión presente acerca de la historicidad de los conceptos y para el posible abordaje de los conceptos desde una perspectiva cognitiva, que será el tema del siguiente capítulo. Schmidgen, por ejemplo, piensa que “Canguilhem concibe a los conceptos como entidades complejas y dinámicas que constan de tres componentes: un fenómeno, una denominación y una definición- o en otros términos, una cosa, una palabra, y una sentencia explicativa” (2014, p. 245). A primera vista puede que esta caracterización recuerde a enfoques más tradicionales para pensar en los conceptos en el sentido de definiciones o la relación entre palabras y cosas. Sin embargo, como ya se mencionaba, los conceptos son importantes en la investigación en tanto sirven como una suerte de guía: son “enunciaciones de un problema a resolver”, son “posiciones de espera en el camino hacia conocimiento más preciso” (Canguilhem & Planet, 1939, p. 96, citado en Schmidgen, 2014, p. 247).

Plantear que los conceptos son entidades complejas y dinámicas quiere decir justamente que los conceptos no son reducibles en última instancia a alguno de estos elementos destacados. De hecho, en la lectura de Schmidgen es posible separar estos componentes de los conceptos y cultivarlos en “diferentes terrenos teóricos”, de modo que los conceptos son teóricamente polivalentes. La relativa independencia del desarrollo conceptual con respecto a la teoría es un rasgo importante que podemos encontrar en Canguilhem y en otros autores contemporáneos (*e.g.* Nersessian & Arabatzis, 2015).

Incluso la construcción de definiciones o descripciones asociadas con determinados conceptos cumple una función heurística en la exploración de los fenómenos, tales definiciones

especifican un conjunto de operaciones, técnicas y métodos de investigación. Feest (2010, 2012), por ejemplo, explora el potencial de las definiciones operacionales como una herramienta útil en la generación de conocimiento. Para esto, Feest realiza una suerte de rehabilitación de la doctrina positivista del operacionalismo en la que se concibe a los conceptos como un conjunto de operaciones.

En esta versión del operacionalismo (que no es un apéndice en una teoría verificacionista del significado), las definiciones operacionales “especifican una operación experimental que, cuando se realiza, produce datos experimentales” (Feest, 2012, p. 177). Así pues, estas definiciones funcionan en general como “herramientas en un proceso en curso de generación de conocimiento por medios experimentales” (Feest, 2012, p. 177; *Cf.* Feest, 2010). Las definiciones operacionales permiten la manipulación experimental de un objeto de estudio en condiciones varias, aun si la existencia de este objeto es todavía una cuestión disputada. El objeto de estudio (y su concepto) se configuran en estos procesos tentativos de exploración. Las intervenciones informan a los conceptos y éstos guían futuras intervenciones.

El punto que quiero establecer a partir del trabajo de autores como Canguilhem, Schmidgen y Feest es que los conceptos y sus definiciones son construcciones provisionales con potencial heurístico. Los conceptos pueden ser revisados, descartados o redefinidos en el proceso de investigación. En otras palabras, la configuración y reconfiguración conceptual es un proceso de generación de conocimiento en la práctica. Este proceso puede avanzar con relativa independencia de las filiaciones teóricas de los investigadores, aunque Feest también señala que en ocasiones la construcción de conceptos es un asunto muy ligado a la construcción de teorías y que las definiciones operacionales funcionan como herramientas tanto en la elaboración de teorías como en la elaboración de conceptos (2012, p. 184).

Las teorías científicas tampoco son el foco primario en la historia de los conceptos de Canguilhem. En el caso de las ciencias de la vida, la exploración posibilitada por los conceptos se traducían en habilidades, prácticas y técnicas que los usuarios del concepto pueden adoptar sin importar la posición teórica que profesen. Por citar un ejemplo, Canguilhem discutía la viabilidad para realizar trabajo experimental a partir del concepto de ambiente interior tanto para fisiólogos que asumían una orientación teórica más cercana al finalismo como para aquellos que profesaban el mecanicismo. En palabras de Canguilhem: “Sin importar que un biólogo asuma

una perspectiva finalista o mecanicista, los conceptos originalmente usados para analizar las funciones de los tejidos, órganos, o aparatos quedaron inconscientemente cargados con un significado técnico o pragmático” (Canguilhem, 2008a, p. 8). Es decir, la utilidad y relevancia de un concepto para la investigación es en muchos casos un asunto independiente del respaldo que pueda tener el concepto en alguna teoría, y este caso es una muestra también de la preeminencia con la que cuentan las prácticas, las maneras estables de hacer las cosas, con respecto a las diferencias de creencia, opinión o filiaciones teóricas.

### **Conclusiones: de la historicidad de los conceptos a la cognición científica**

El tipo de enfoque histórico para pensar los conceptos científicos que he intentado articular aquí, es sin duda un enfoque que privilegia las prácticas y técnicas de investigación antes que el análisis de teorías. Explorar las relaciones entre la práctica y la generación y rectificación de conceptos también nos deja ver la función que tienen los conceptos (incluso en sus estados “embrionarios”) en el proceso de generación de conocimiento. En esta misma dirección, la literatura filosófica más reciente acerca de los conceptos científicos se centra en las contribuciones que aportan los conceptos en las prácticas de investigación científica, y trata de elucidar el rol que éstos desempeñan en actividades como la experimentación, la explicación, la modelación y el razonamiento científico en general (*e.g.* Feest & Steinle, 2012). Esta es una preocupación distinta a las discusiones acerca del significado y la referencia de los conceptos en los debates acerca del cambio conceptual que predominaron en el siglo XX.

Con base en su experiencia como historiador de las ciencias de la vida, Canguilhem entendió al conocimiento científico como una práctica humana con potencial transformador del ambiente: un “método general” “para resolver, directa o indirectamente, las tensiones que surgen entre los humanos y su ambiente” (Marrati & Meyers, 2008, p. viii). La epistemología histórica de Canguilhem no trabaja con una concepción del conocimiento como el juego de un espectador que simplemente observa y representa, sino que en su historiografía lo distintivo de la cognición humana radica en la necesidad de interactuar, modificar y pensar a partir de su entorno. De vuelta a los ejemplos que aludimos, la experimentación en biología puede pensarse como una relación de adaptación técnica con el ambiente, por ejemplo. Así pues, me parece que puede trazarse un puente entre el tipo de sensibilidad histórica de Canguilhem y enfoques filosóficos

contemporáneos centrados en las prácticas científicas y en nociones de la cognición más enfocadas en la acción. Esta afirmación encuentra respaldo en la lectura que hacen Marrati y Meyers de la obra de Canguilhem cuando afirman que en su obra: “Las prácticas cognitivas humanas emergen como una poderosa instancia particular de una tendencia expresada por todos los seres vivos: la capacidad de resolver problemas de maneras creativas y novedosas” (Marrati & Meyers, 2008, p. ix).

La idea de la cognición como la solución de problemas a partir de la interacción y modificación con los recursos del ambiente recuerda a posiciones contemporáneas en el estudio de la cognición que destacan su carácter ecológico y situado. Estas conexiones entre los estudios histórico-filosóficos y los estudios cognitivos se explorarán en el siguiente capítulo, en el que destacaré cómo los conceptos científicos surgen en este proceso de interacción con el ambiente, así como el impacto que tienen en la forma en la que posteriormente se conduce esta interacción. En los contextos científicos que se explorarán a continuación, entre las herramientas que permiten modificar la relación que se tiene con el ambiente podemos destacar a los conceptos, siendo la fabricación y uso de instrumentos una de las maneras más característicamente humanas de interactuar con el ambiente.

Decir de los conceptos científicos que tienen una historia equivale a decir que tuvieron un origen, a decir que son creaciones cuya comprensión requiere del estudio de sus circunstancias de producción, de las preocupaciones, problemas y preguntas que condujeron a su configuración a través de un proceso de modificación y rectificación constante. Como se mostró en este capítulo, este proceso de rectificación es un proceso muy ligado a las intervenciones experimentales ejecutadas con la intención de comprender mejor el fenómeno o problema en cuestión, proceso que conduce a conceptualizaciones y reconceptualizaciones de estos fenómenos.

De este modo, la elaboración de conceptos es una manera de interactuar con el ambiente y tratar de generar conocimiento acerca de éste. Este conocimiento se muestra en la retroalimentación entre las prácticas que permiten configurar o articular los conceptos, y las nuevas rutas de acción y exploración posibilitadas por éstos. En la práctica científica se crean conceptos para tratar de entender el mundo y, al mismo tiempo, este mundo, el ambiente cognitivo donde los científicos trabajan, se ve modificado por la creación y el uso de conceptos.



En el siguiente capítulo se explorarán propuestas contemporáneas para realizar un estudio de los conceptos científicos tanto desde una perspectiva cognitiva como desde una perspectiva histórica como la esbozada en este capítulo.

### **Capítulo 3. Conciliando historia y cognición: cognición distribuida y cambio conceptual**

#### **Introducción**

En el capítulo anterior se discutió el potencial filosófico de una historia de los conceptos al estilo de Canguilhem y sus intérpretes contemporáneos. Aquel tipo de historia es una historia ligada a las prácticas que permite entender el papel de los conceptos en la evolución de las mismas. El combate de Canguilhem a una lectura de los conceptos científicos como “entidades que flotan libres, divorciadas de contextos experimentales teóricos y culturales más amplios” (Méthot, 2013, p. 121), exige situarlos en la historia, corporizarlos, por así decir. Trazando una analogía con los estudios y debates contemporáneos en el campo de las ciencias cognitivas, la historización de los conceptos científicos, la labor de situarlos en condiciones técnicas, sociales y materiales específicas, constituye un viraje teórico y metodológico quizás no muy distinto a los diferentes esfuerzos por “situar la cognición”. Así pues, un estudio de la dimensión cognitiva de los conceptos científicos también deberá considerar a la cognición como un fenómeno situado, en la línea de tendencias más contemporáneas en ciencias cognitivas.

La tarea pendiente en este capítulo será construir un puente entre los estudios cognitivos y los estudios históricos de la ciencia. El propósito es que dicho puente permita tanto ampliar y reforzar el entendimiento de los procesos históricos de articulación y reconfiguración de conceptos en la práctica científica, como dar cuenta del carácter social de la cognición que subyace a procesos de formación de conceptos.

En la primera sección de este capítulo se presenta una caracterización de los estudios cognitivos de la ciencia como una investigación de los procesos y capacidades cognitivas detrás de las prácticas de razonamiento científico. Se discute también la aparente discrepancia que existe entre estos estudios y las explicaciones sociales acerca del cambio científico. En este

contexto, discuto las ventajas del marco de la cognición distribuida con el que filósofos de la ciencia como Nancy Nersessian han tratado de comprender los procesos cognitivos y de razonamiento detrás de fenómenos como el del cambio conceptual en la ciencia. La idea de cognición distribuida se presenta como una manera de salvar una supuesta brecha entre lo social y lo cognitivo, al considerar las dimensiones sociales, materiales y culturales de la cognición científica.

Antes de hablar de cognición distribuida es importante resaltar que cognición situada y cognición distribuida no son términos intercambiables, pero representan ideas y programas de investigación muy relacionados. En ocasiones, el término cognición situada es utilizado como una denominación general que abarca enfoques que destacan cómo el cuerpo de los agentes y partes de sus ambientes participan activamente en la implementación de la cognición, o en otras palabras, la cognición situada incluye a aquellas posiciones preocupadas por cómo los factores ambientales constriñen y posibilitan los procesos cognitivos (Gallagher & Varga, 2020, pp. 1-2). En este capítulo, con la idea de cognición distribuida busco simplemente señalar que una parte importante del razonamiento que lleva a la conformación de nuevos conceptos se encuentra distribuido entre aspectos del sistema cognitivo donde trabajan tanto científicos como modelos y artefactos, y que en general la creación de conceptos científicos no ocurre sólo en la cabeza de agentes individuales. Sin embargo, como se verá más adelante, para Nersessian y sus colaboradores, que son autores que sigo de cerca, el que la cognición esté distribuida es básicamente una consecuencia de su carácter situado.

En la segunda sección presento un ejemplo de innovación conceptual extraído de los estudios etnográfico-cognitivos de Nersessian y colegas acerca de las prácticas cognitivas en laboratorios de bioingeniería. Estos laboratorios ejemplifican la idea de un sistema de cognición distribuida. El análisis de los laboratorios científicos como sistemas de cognición distribuida alude a la complementariedad e integración que se da entre una pluralidad de agentes humanos y las herramientas y estrategias que utilizan para tratar de solucionar un problema. La solución de problemas en este marco implica también la manipulación y modificación del sistema cognitivo mismo. Entre las herramientas que permiten avanzar los objetivos de la investigación destacan los conceptos científicos. Con el estudio de caso pretendo resaltar algunos de los procesos cognitivos centrales involucrados en la generación de conceptos. Por ejemplo, el razonamiento a

partir de la construcción y modificación de modelos de los fenómenos bajo estudio, el planteamiento de analogías entre los modelos, y el uso de imaginaria visual para crear nuevas rutas de razonamiento y solución de problemas.

El capítulo termina con algunas consideraciones acerca del rol que desempeñan los conceptos científicos como herramientas que impactan significativamente el desarrollo de la práctica y los modos de razonamiento en los sistemas de cognición científica. Como se trató en el capítulo anterior, la creación de conceptos está íntimamente relacionada con la experimentación y con el razonamiento, y las consideraciones cognitivas en este capítulo nos permiten ampliar esta idea. Los conceptos científicos incorporan nuevas maneras de razonar acerca de los fenómenos: nuevas maneras de interactuar y alterar el ambiente cognitivo del laboratorio científico y los subsistemas que lo componen. Para entender el origen y la significatividad de los conceptos hay que prestar atención a la creación y modificación de sistemas de cognición científica y sus prácticas de razonamiento. En este sentido se sugiere que el cambio conceptual es un componente importante para el desarrollo de la cognición científica entendida como un fenómeno histórico y situado.

### **3.1. Estudios cognitivos de la práctica científica y la barrera entre lo social y lo cognitivo**

Los estudios cognitivos sobre ciencia son un campo interdisciplinario que mezcla elementos de la filosofía y la historia de la ciencia con algunos aspectos de disciplinas de las ciencias cognitivas como la psicología cognitiva y la inteligencia artificial (Giere, 2007). Estos estudios buscan comprender las prácticas de razonamiento científico a través de las capacidades y limitaciones cognitivas de los seres humanos. Utilizando la analogía kantiana, los estudios cognitivos preguntan, de manera naturalista, por las condiciones (cognitivas) de posibilidad de las prácticas y el razonamiento científico (*Cf.* La introducción a la antología de Carruthers et al., 2002). Entre los diversos enfoques para acercarse a este cometido encontramos narraciones históricas de descubrimientos científicos, experimentos psicológicos con no-científicos trabajando en tareas relacionadas con descubrimientos científicos, observación directa en laboratorios, y modelos computacionales del proceso de descubrimiento científico (Giere, 2007, p. 259).

Así pues, existen maneras diversas de entender y estudiar la cognición humana, y de trasladar algunos de los resultados de estos estudios para la comprensión de la cognición científica. En este capítulo consideraré especialmente el llamado enfoque de la cognición distribuida, que expande (e incluso se opone) a una idea de la cognición entendida como un proceso computacional sobre representaciones internas. El atractivo del marco de la cognición distribuida radica en su inclusión de aspectos materiales y sociales de la cognición, aspectos también considerados por enfoques históricos como los discutidos en el capítulo anterior. Con este tipo de enfoque abordaremos en las siguientes secciones el tema de la innovación conceptual en la práctica científica.

Antes de abordar propiamente el marco de la cognición distribuida, presentaré primero un contraste entre proyectos que explotan la metáfora de la cognición como un tipo de computación y propuestas para entender la cognición más centradas en la acción, a partir de un par de ejemplos en filosofía de la ciencia. Como ejemplo del primer grupo presentamos el trabajo de Paul Thagard (2012), y en el segundo caso se habla del enfoque histórico-cognitivo de Nancy Nersessian (1995) y del estudio pionero sobre la cognición situada y distribuida de Edwin Hutchins (1995). Tras el contraste se plantea un estudio de la innovación conceptual desde una perspectiva más ecológica y social de la cognición.

Una crítica frecuente a los modelos computacionales de la cognición científica es la exclusión de las condiciones sociales y materiales de la ciencia como recurso explicativo para entender la cognición. La ciencia cognitiva de la ciencia o filosofía computacional de la ciencia de Paul Thagard (2012), es un ejemplo de una postura que ha buscado servirse de modelos computacionales para comprender los procesos de descubrimiento en la ciencia. Como el propio Thagard lo señala, la implementación de tales modelos parte de la hipótesis según la cual el pensamiento es un tipo de computación. Siguiendo a esta conjetura, “el pensamiento consiste en aplicar procesos a representaciones, justo como la computación consiste en aplicar algoritmos a estructuras de datos” (Thagard, 2012, p. 6).

Thagard reconoce a los modelos y simulaciones computacionales como una herramienta útil para la construcción de teorías científicas, pues los modelos computacionales producen datos y ayudan en la generación y evaluación de hipótesis (2012, pp. 8-9). A su vez, el enfoque de Thagard difiere de lo que él llama una filosofía formal de la ciencia, en donde las teorías

científicas se conciben como estructuras formales a la manera de las proposiciones en la lógica. Thagard, en cambio, prefiere pensar a las teorías científicas como representaciones mentales. Así pues, es a partir de la asunción de que la cognición es la manipulación de representaciones internas y de que este es un proceso análogo a las labores de procesamiento y cálculo realizadas por una computadora, que se plantea la ventaja de simular computacionalmente los procesos de razonamiento detrás de descubrimientos científicos.

Este tipo de enfoque cognitivo-computacional no pretende ofrecer una explicación reductiva de la ciencia, en tanto fenómeno social, a procesos psicológicos y neuronales, pero Thagard menciona explícitamente que tales elementos sociales y culturales no figurarán en su análisis cognitivo del conocimiento científico. En una filosofía computacional de la ciencia, la inclusión de los aspectos sociales de la cognición consistiría en desarrollar modelos con la capacidad de simular aspectos sociales de la ciencia (Thagard, 2012, pp.15-16). De este modo, lo social quedaría relegado al contenido de las representaciones de un agente individual, siendo el pensamiento individual el proceso que los modelos computacionales buscan reproducir. Se exalta así la idea de la cognición como un proceso más bien individual e interno.

Otros enfoques, como el de Nersessian (*e.g.* Nersessian, 1995, 2005), exploran las posibles intersecciones entre los estudios cognitivos y otros abordajes históricos y sociales acerca de la ciencia. En perspectivas teóricas como estas, la cognición científica no puede entenderse con independencia de la influencia del ambiente social, cultural y material en la que la cognición está situada, y la comprensión de procesos como la formación de conceptos científicos requiere de una comprensión de las interacciones históricas entre estos componentes irreducibles de la cognición científica.

Nersessian (1995) discute la emergencia de una historia cognitiva de la ciencia que examina las herramientas y los artefactos cognitivos que los científicos emplean y construyen en sus prácticas (teóricas y experimentales) de razonamiento. Este tipo de historia cognitiva “*intenta reconstruir la dimensión cognitiva de los procesos a través de los cuales especulaciones vagas se articulan en entendimiento científico, se comunican a otros científicos y reemplazan representaciones existentes de un dominio*” (Nersessian, 1995, p. 194, cursivas en el original). En otras palabras, la historia cognitiva de Nersessian tiene por objeto de estudio los procesos cognitivos detrás del cambio conceptual en la ciencia.

La historia cognitiva de Nersessian “asume que la ciencia es un producto de la interacción de la mente humana con el mundo y con otros humanos” (1995, p. 195). Esta asunción no es ajena al grueso de los estudios cognitivos sobre ciencia, y ciertamente es una asunción que también puede encontrarse en el trabajo de Thagard, por ejemplo. Sin embargo, la diferencia importante radica en que los enfoques computacionales consideran que la cognición científica puede estudiarse perfectamente en abstracción de su dimensión cultural, material o social. En contraste, la propuesta de Nersessian parte del reconocimiento de que la producción de conocimiento científico requiere de un tipo de cognición que sólo es posible si se toma en consideración la riqueza cultural, social y material del ambiente (Nersessian, 2005, p. 18). Así pues, la reflexión acerca de la cognición científica debería realizarse en relación con el contexto o situación donde ésta se desarrolla (Nersessian, 2005, p. 19). Esta es pues una postura más cercana a las intuiciones guía de otras ramas de los estudios sociales de la ciencia y a estudios contemporáneos de la cognición, en particular a aquellos estudios que consideran a la cognición como un proceso situado en un contexto y distribuido en el ambiente.

Revalorar el papel de la situación (histórica podríamos agregar) y el ambiente (social, material y cultural) para la cognición ofrece una vía de encuentro entre los estudios sociales y los estudios cognitivos sobre ciencia, enfoques que en ocasiones se perciben como incompatibles (*e.g.* Latour, 1987, p. 247, 1999, pp. 4-10). Esta incompatibilidad aparente se debe a la aversión, por parte de algunos autores en el campo los estudios sociales, hacia el ya mencionado solipsismo metodológico y el internalismo propio del paradigma computacional en ciencias cognitivas (vease Wilson & Clark, 2009, pp. 57-59, sobre la relevancia del solipsismo metodológico en dicho paradigma). La crítica a este tipo de individualismo condujo a autores como Bruno Latour a rechazar como irrelevantes los procesos mentales internos de agentes involucrados en los procesos sociales característicos de la ciencia (Giere, 2007, p. 262; *Cf.* Latour, 1987, p. 247; Latour & Woolgar, 1986, p. 280). De este modo, en las explicaciones sociológicas o culturales de la ciencia, la cognición quedaba relegada a una especie de caja negra. Esta oposición sin embargo desaparece cuando consideramos nociones más sociales y ecológicas de la cognición.

Como ejemplo de una posición viable en esta dirección, discutiré algunos aspectos del trabajo colaborativo reciente que Nersessian ha realizado en relación con el estudio de la

cognición científica (e.g. Nersessian, 2005, 2006; Nersessian et al., 2003; Kurz-Milcke et al., 2004). En posturas como la de Nersessian y colegas (e.g. Osbeck & Nersessian, 2006; Nersessian, 2005), cultura y cognición son procesos mutuamente implicados. De modo que la cognición está *distribuida* entre personas y artefactos, y *situada* en contextos físicos y culturales. Nersessian califica a este tipo de enfoque como ecológicos (*environmental*), enfoques donde la acción humana es el foco para entender la cognición y la cognición siempre tiene relación con el ambiente (Osbeck & Nersessian, 2006, p. 143).

En el caso de la práctica científica el ambiente en cuestión es un entorno material, social y tecnológicamente rico que Nersessian y colegas pretenden estudiar a través de la observación etnográfica en laboratorios científicos caracterizables como sistemas de cognición distribuida, es decir, sistemas que incluyen “a un agente (o multiplicidad de agentes), tradiciones de práctica, artefactos materiales, aparatos e instrumentos cuyas características y funciones ayudan de múltiples formas a la diseminación de información a través del sistema” (Osbeck & Nersessian, 2014, pp. 83-4). Términos como cognición distribuida y cognición situada se confunden en estos planteamientos, pues la actividad cognitiva relevante en los casos estudiados ocurre en los espacios que se han caracterizado como sistemas distribuidos. De nuevo: la cognición científica es tanto un asunto situado como distribuido. Sin embargo, dada la preeminencia que la idea de cognición distribuida tiene en las fuentes consultadas, será el término que figurará en las reflexiones siguientes.

En lo que resta de esta sección, ahondaré un poco más en los antecedentes de la idea de cognición distribuida en el *Cognition in the Wild* de Edwin Hutchins (1995), para después llegar al trabajo más reciente de Nersessian sobre la producción de conceptos científicos en sistemas de cognición distribuida. En el resto del capítulo sigo de cerca el enfoque de Nersessian dado que aborda el problema de la generación y cambio de conceptos desde una perspectiva que toma en cuenta la práctica, así como aspectos cognitivos e históricos.

La cognición distribuida puede entenderse como un marco desde el que se intenta dar cuenta de la cognición como un proceso que está distribuido entre la actividad de una multiplicidad de agentes y sus interacciones con diferentes tipos de artefactos. Esta idea tiene entre sus antecedentes contemporáneos al trabajo etnográfico de Edwin Hutchins. En *Cognition in the Wild* (1995), Hutchins realiza un estudio situado sobre la navegación a bordo de

embarcaciones de los Estados Unidos. En dicho estudio, se destaca la importancia de la organización social y el uso de instrumentos para la realización de tareas conjuntas. Las diferentes tareas realizadas por la tripulación se consideran una actividad cognitiva. Hutchins trató a los factores sociales y culturales, así como al ambiente material y a los artefactos, como aspectos relevantes para entender a la cognición tal y como ésta se desarrolla en el lugar de trabajo, en los contextos reales de su implementación y desarrollo.

Discutir a la cognición como un proceso cultural y social representa un esfuerzo por desdibujar las distinción interno-externo y el solipsismo metodológico a la hora de estudiar la cognición. Para Hutchins, la unidad adecuada para el estudio del cambio cognitivo debe incluir al ambiente socio-material en el que ocurren procesos como el aprendizaje (Hutchins, 1995, p. 289). Más todavía, incluso en las explicaciones de procesos individuales tendrían que mencionarse otros procesos que ocurren en el entorno. Por ejemplo, Hutchins describe al aprendizaje individual como:

la propagación de algunas clases de organización desde una parte de un sistema complejo hacia otra. Algunas de las partes que se reorganizan están dentro de la piel. No es posible comprender cómo esta reorganización tiene lugar sin mirar las otras clases de reorganización presentes en el sistema más amplio. La cuestión del aprendizaje individual se convierte ahora en la cuestión de cómo aquello que está al interior de una persona puede cambiar en el tiempo como consecuencia de interacciones repetidas con elementos de la estructura cultural (Hutchins, 1995, p. 290).

La teoría que Hutchins presenta en su libro clásico es “una teoría de la cognición que viene después, y no antes, de una descripción del mundo cultural en el que el comportamiento cognitivo humano se encuentra embebido” (1995, p. 291). Esta idea es precursora de lo que en adelante llamaremos cognición distribuida. Esta noción de la cognición es mucho más afín a la concepción un tanto más amplia de cognición que opera en los estudios sociales, donde el mero acto de hacer ciencia es involucrarse en una actividad cognitiva, y, dado que la ciencia es considerada una actividad inherente o constitutivamente social, entonces la cognición pasa a ser automáticamente social (Giere, 2007, p. 261). La importancia de las características del ambiente para la cognición, y de procesos externos como el trabajo con artefactos serán otra marca distintiva de la idea de cognición distribuida.



En años recientes, Nersessian y un equipo multidisciplinario han estudiado las prácticas de razonamiento tal y como éstas se desarrollan en laboratorios de bioingeniería (e.g. Kurz-Milcke et al., 2004; Nersessian, 2006, 2012, 2019; Nersessian et al., 2003). Estos estudios retoman elementos de los estudios etnográficos de laboratorio y del enfoque cognitivo de estudios como el de Hutchins, al mismo tiempo que prestan atención a la dinámica y evolución de las prácticas de razonamiento y en general a la evolución de los laboratorios entendidos como sistemas de cognición distribuida. En los trabajos de Nersessian y colegas, tanto los agentes como los instrumentos que forman parte del sistema atraviesan procesos de cambio. Este aspecto de su propuesta es una diferencia importante con respecto al trabajo clásico de Hutchins, que no reconoce que los instrumentos también cambian.

Los instrumentos que aparecen en las observaciones de Hutchins tienen una historia dentro de su propio campo, pero éstos no evolucionan en el día a día del trabajo a bordo de la embarcación. Así pues, el sistema cognitivo documentado por Hutchins es dinámico pero sincrónico, mientras que los laboratorios de bioingeniería tienen un carácter tanto dinámico como diacrónico, puesto que agentes e instrumentos cambian a partir de las interacciones que se dan entre sus trayectorias. Los laboratorios científicos son sistemas de cognición distribuida en evolución.

La investigación de Nersessian y colegas es de interés en el contexto presente pues en ella se documenta cómo las prácticas de razonamiento de los científicos modifican el entorno en el que los científicos tratan de resolver problemas y cómo estas prácticas de razonamiento dan lugar a novedades conceptuales. La necesidad de conceptualizar nuevos fenómenos impulsa la creación de sistemas de cognición distribuida (que ofrecen affordances y constreñimientos para la solución de problemas) y es en estos sistemas que los conceptos se forman y articulan. En los casos estudiados por Nersessian hay una relación casi recursiva entre la formación de conceptos y la construcción de sistemas de cognición distribuida: conceptos incipientes pueden impulsar la construcción de nuevas maquinarias epistémicas<sup>6</sup> (modelos utilizados como sitios de experimentación y razonamiento) que se configuran en sistemas cognitivos distribuidos, y en el curso de la experimentación con estas maquinarias pueden surgir nuevos conceptos científicos (Nersessian, 2012b, p. 238).

<sup>6</sup> Nersessian recupera la noción de maquinaria epistémica de Knorr-Cetina, 1999.

En la siguiente sección se presenta un caso de innovación conceptual en uno de los laboratorios de bioingeniería estudiados por Nersessian y colegas. Con este caso pretendo mostrar algunos de los procesos cognitivos y prácticas de razonamiento relevantes que conducen a la creación de conceptos, así como a la modificación de los sistemas de cognición científica y de la práctica que en ellos se realiza. Entre las prácticas de razonamiento que conducen a la generación de nuevos conceptos Nersessian destaca la construcción de modelos (físicos, computacionales o de otra índole). La sección comenzará entonces con algunas consideraciones preliminares acerca de las prácticas de modelación en los laboratorios de bioingeniería estudiados por Nersessian.

### **3.2. Prácticas de modelación e innovación conceptual en el laboratorio de bioingeniería: el caso de CAT**

#### *Prácticas de modelación en laboratorios de bioingeniería*

En los laboratorios de bioingeniería, consideraciones éticas y técnicas vuelven necesaria la construcción de modelos “in vitro” (constructos técnico-biológicos que simulan o representan aspectos relevantes del sistema que se modela) o “in silico” (modelos computacionales) de los organismos y sistemas bajo estudio (o sistemas “in vivo”). Resolver problemas en el contexto de estos laboratorios implica “moverse” de un tipo de modelo a otro (y reconfigurar los modelos en el proceso). Los dispositivos de simulación (como los modelos físicos y computacionales) sirven para hacer predicciones sobre lo que podría pasar en el sistema “in vivo”: son un modo de generar hipótesis y conjeturas, de hacer experimentos y generar otros experimentos que después podrían efectuarse en el organismo.

Los conceptos surgen de la convergencia de los muchos intentos por resolver un problema (que en el contexto de los laboratorios de ingeniería muchas veces es también un problema técnico o de diseño), el uso de otros recursos conceptuales (provenientes de diversas áreas dada la naturaleza interdisciplinar de la investigación), recursos materiales y recursos analíticos provistos por la situación problemática, y de lo que Nersessian llama razonamiento basado en modelos (*model-based reasoning*). En estos procesos de razonamiento, “los modelos

son construcciones dinámicas a través de las cuales los científicos hacen inferencias y resuelven problemas que en ocasiones requieren de innovación y cambio conceptual” (Nersessian, 2012a, p. 245).

En las prácticas de modelación estudiadas por el equipo liderado por Nersessian, procesos analógicos, visuales y de simulación se utilizan para construir modelos que “encarnan” constreñimientos abstraídos del dominio bajo investigación (o dominio meta). También se utilizan constreñimientos extraídos de otros dominios utilizados como fuente de analogías y los propios constreñimientos que surgen del modelo ya construido (dada su naturaleza técnica y material). Estos constreñimientos pueden guiar a un razonador hacia la solución de un problema. Al abstraer e incorporar constreñimientos de diversos dominios, estructuras o comportamientos previamente no representadas pueden surgir. Nuevos conceptos son necesarios para comprender estas estructuras y comportamientos emergentes (Nersessian, 2012a, p. 246).

En publicaciones anteriores, Nersessian (1984, 1992, 2008) estudió las prácticas de razonamiento que llevaron figuras históricas como Michael Faraday o James Clerk Maxwell a la formulación de conceptos clave en la historia del estudio del electromagnetismo. En estos trabajos, Nersessian utilizó una noción de modelo mental como representación interna para explicar la naturaleza de los experimentos mentales y su papel en la configuración de los conceptos estudiados. En las investigaciones etnográficas más recientes, la noción de modelo relevante pierde el adjetivo de “mental” y se expande para incluir modelos externos de naturaleza muy diversa. En estas investigaciones, Nersessian (2012a, p. 266) detecta algunos aspectos relevantes para la innovación conceptual que aparecen tanto en los estudios históricos como en los estudios etnográfico-cognitivos. Estos aspectos son los siguientes:

1. Creación de dominios analógicos como fuentes de constreñimiento para construir modelos.
2. Representación visual como medio que facilita la inferencia perceptual y la simulación.
3. Simulación: inferencia de nuevos estados a través de la manipulación de modelos.
4. Ciclos de construcción-simulación, construcción-manipulación, evaluación y adaptación de modelos.
5. Emergencia de relaciones analógicas entre el modelo y la situación modelada.

Estos aspectos y el proceso de creación de nuevos conceptos en el contexto del sistema de cognición distribuida de un laboratorio de bioingeniería se ilustran con el siguiente ejemplo.

*El surgimiento de CAT: un nuevo concepto para entender la actividad neuronal*

Uno de los laboratorios estudiados por el equipo de Nersessian tuvo por objetivo general la comprensión de los mecanismos de aprendizaje en el cerebro por medio de una investigación de las propiedades de red en neuronas vivas. Para tal fin, fue necesaria la construcción de un modelo de la actividad neuronal en el cerebro en forma de un cultivo de neuronas en el cual se intentaría inducir aprendizaje. Este cultivo, conocido entre los investigadores como “el plato” (“*the dish*”), se construyó como un modelo in vitro de la actividad neuronal en el cerebro. “El plato” fue construido con la finalidad de encontrar maneras de explorar si el aprendizaje podía ocurrir en sistemas de neuronas que únicamente cuentan con las propiedades de red del cerebro, es decir, cuando se las abstrae y se las considera con independencia de otras estructuras cerebrales (Nersessian, 2012a, p. 251). El modelo constituye una simplificación o idealización del complejo fenómeno estudiado, aun así, el modelo debe permitir responder por lo menos algunas preguntas básicas y ampliar así nuestro entendimiento del fenómeno.

En la época en la que el laboratorio realizó la investigación reportada, el estudio de las neuronas en neurociencias estaba dominado por registros de la actividad de neuronas individuales. Sin embargo, en el caso del aprendizaje del cerebro lo que llevan a cabo la labor son las redes y no las neuronas individuales, por lo que surgió el interés por desarrollar cultivos in vitro de redes neuronales con la capacidad de aprender. Asimismo, para poder estudiar el aprendizaje en estas redes era necesario encontrar la manera de introducir “inputs” en el sistema in vitro y desarrollar software para llevar el registro de esta actividad. Esta serie de problemas técnicos ocuparon la atención de un grupo multidisciplinario de investigadores.

Como indicador de aprendizaje dentro de la red se empleó el “concepto estándar en psicología”, a saber, “un cambio de comportamiento duradero resultado de la experiencia” (Nersessian, 2012a, p. 253). Esta definición de aprendizaje se operacionalizó, en el contexto del modelo in vitro, a través de lo que en neurociencias se conoce como plasticidad: los cambios en el cerebro que resultan de añadir o quitar conexiones neuronales o añadiendo nuevas células en respuesta a la experiencia, y a través de la formulación matemática conocida como la regla de

Hebb (Nersessian, 2012a, p. 253).

Así pues, el modelo del “plato” (la red neuronal de cultivo) fue diseñado para proveer un entendimiento básico de cómo las neuronas se comunican y procesan información de modo tal que se puede decir que ocurre el aprendizaje. El proyecto general de investigación da lugar a una serie de tareas complementarias como el cultivo, simulación, control, registro y representación de arreglos neuronales; el diseño y la construcción de ambientes (robóticos y simulados) en los cuales los cultivos de neuronas puedan aprender mediante la producción de inputs y retroalimentación; y el uso de la electrofisiología y técnicas ópticas de representación para estudiar la plasticidad (Nersessian, 2009, p. 735).

Durante la etapa de exploración del espacio de problemas constituido por “el plato”, conceptos provenientes de los estudios uni-neuronales y de la ingeniería fueron usados para dar sentido a las interacciones con el modelo. Esto debido a que, en ausencia de una literatura abundante sobre fenómenos neuronales en red, había que servirse de los resultados de la literatura disponible. La utilidad de las importaciones conceptuales también se debe a que el diseño del modelo del plato incorpora constreñimientos tanto de la neurobiología, como de la química y la ingeniería eléctrica.

Al explorar el modelo, se registraron picos de actividad eléctrica asociadas con actividad neuronal (“neuron firing”). Dado que el modelo simula la actividad de una red, la actividad eléctrica registrada por un solo electrodo estaría relacionada con la actividad de un pequeño grupo de tres a cinco neuronas (Nersessian, 2012a, p. 254). Estos picos de actividad serían registrados y visualizados por medio de software. Como parte de las actividades de exploración del “plato” estaba la tarea de replicar un resultado de plasticidad producido por otro grupo de investigación. Esto no fue posible ya que el modelo exhibía actividad eléctrica espontánea y simultánea a lo largo de toda la red. Una de las investigadoras denominó “estallido” (*bursting*) a este fenómeno, planteando una analogía con los estudios de neuronas individuales donde un “estallido” refiere a la actividad espontánea de una neurona. El fenómeno de estallido representaba un problema, pues prevenía la detección de cualquier cambio sistemático que pudiera surgir como producto de una estimulación controlada, o, en otras palabras, el estallido impedía la detección del aprendizaje (Nersessian, 2012a, p. 255).

El equipo llegó a conceptualizar el fenómeno del estallido en términos de “ruido”, tal y como este concepto se entiende en ingeniería, a saber, como “una perturbación en la señal que necesita eliminarse” (Nersessian, 2012a, p. 255). Esta conceptualización inmediatamente sugiere la implementación de estrategias para eliminar o atenuar la interferencia o ruido que impide observar los efectos del aprendizaje que se pretende inducir. Tales estrategias de “silenciamiento” incluyeron el desarrollo de diferentes patrones de estimulación eléctrica. Sin embargo, habiendo obtenido éxito en la tarea de “silenciar los estallidos”, los investigadores se encontraron ante una nueva dificultad: en el plato “silenciado”, los patrones de actividad provocados por estimulación continua no permanecían constantes a través de las pruebas, sino que se “desviaban” hacia patrones distintos (Nersessian, 2012a, p. 255). Esta desviación impedía rastrear el efecto de los estímulos a los que el modelo era sometido, dado que la red nunca respondía de la misma forma ante al mismo estímulo constante (Nersessian, 2012b, p. 233). Es así que la investigación se encuentra con un nuevo impasse.

Para tratar de avanzar en la solución del problema se tomó la decisión de explorar los resultados del modelo in vitro a través de la implementación de un modelo computacional o in silico. El atractivo principal de trabajar con un modelo computacional (un modelo de segundo orden en tanto que modela a otro modelo) es el grado de control que se tiene sobre los parámetros involucrados. Mientras que el modelo in vitro es más bien “opaco”, el modelo computacional permite “medir cada detalle de la red” (Nersessian, 2012a, p. 256).

El modelo computacional se configuró a partir de varios ciclos de abstracción, construcción, evaluación y adaptación de los constreñimientos del dominio meta (el modelo in vitro del “plato”), recursos de dominios analógicos (información proveniente de la literatura en neurociencias) y los propios constreñimientos del modelo computacional mismo (las características del programa o la plataforma de modelación). La construcción de este modelo equivale a la construcción de una fuente de analogías. Se espera que lo aprendido en el modelo computacional sea transferible al modelo in vitro. Con las primeras versiones del modelo in silico se intenta replicar el protocolo experimental que se siguió con el modelo in vitro. Es una buena señal que el modelo computacional sea capaz de replicar los resultados experimentales del otro modelo.

Cuando el modelo computacional se encuentra más desarrollado, se empieza a “jugar con él”, es decir, a realizar simulaciones con él en diversas circunstancias. Con el paso del tiempo, las simulaciones por computadora proveen a los investigadores con nuevas intuiciones acerca del modelo simulado. Con las intuiciones ganadas en la computadora, es posible volver al espacio físico del laboratorio e intentar avanzar el problema con base en lo aprendido. Al final, el modelo in silico resultó ser fuente de nuevos conceptos para entender los fenómenos del modelo in vitro, así como una estructura de control para el aprendizaje supervisado en el modelo original.

El desarrollo de estas intuiciones tuvo también que ver con encontrar un tipo de visualización que permitiera interpretar mejor los datos generados por el modelo. Contar con una representación visual permitió a los investigadores ver (literalmente) patrones interesantes en las respuestas del modelo ante los estímulos. El modelo computacional permitió visualizar, en tiempo real, un patrón de actividad a través de toda la red. A diferencia del modelo in silico, el software original usado para monitorear el modelo in vitro sólo podía registrar la actividad de los electrodos conectados al plato (Nersessian, 2012b, p. 234). El modelo in silico permite además visualizar la actividad de las neuronas individuales así como la propagación de actividad a lo largo de toda la red.

Gracias a la simulación fue posible observar cómo los estallidos detectados al inicio de la investigación se propagaban a lo largo de la red en patrones más bien estables. Los miembros del equipo comenzaron entonces a investigar modos de rastrear y representar matemáticamente estos patrones de actividad. Otro aspecto particularmente interesante de las visualizaciones es su potencial para construir entendimiento colectivo, pues a través de las simulaciones y su componente visual es posible mostrar a otros investigadores el comportamiento de interés (Nersessian, 2012b, p. 235).

La mayor transformación conceptual en cuanto al entendimiento de los “estallidos” vino con la visualización de los patrones estables de actividad recién discutidos, pues en este punto de la investigación el equipo comenzó a pensar en los fenómenos de estallido como señales en potencia y ya no como ruido. Esto es importante, puesto que una señal puede ser manipulada y usarse para guiar y controlar los procesos de aprendizaje en el sistema in vitro y posiblemente en el sistema in vivo. Para que esta reconceptualización fuera posible, tuvo que desarrollarse una

manera de rastrear la actividad de posibles estallidos estables a través de la red neuronal. Este fue el propósito del nuevo concepto conocido como CAT (*Center of Activity Trajectory* o Centro de la trayectoria de actividad).

CAT es una noción de promedio (*averaging notion*), similar a la noción de un vector de población. Un vector de población captura cómo la tasa de disparo de un grupo de neuronas asociadas a un estímulo proporciona una representación precisa del estímulo. El CAT es, sin embargo, más complejo que el vector de población porque rastrea las propiedades espaciales de la actividad mientras ésta se mueve a través del sistema. Por ejemplo, si la red se dispara de manera homogénea el CAT permanecerá en el centro del plato, pero si la red se dispara principalmente hacia la esquina izquierda, entonces el CAT se moverá en esa dirección. El CAT rastrea entonces el *flujo* de la actividad (y no sólo la actividad) de una población de neuronas, y en una escala de tiempo mucho más rápida que los vectores de población (Nersessian, 2012b, p. 236). Es a través de esta nueva noción y de la capacidad del sistema in silico para correr simulaciones ilimitadas que los patrones estables de actividad llegaron a la atención de los investigadores, quienes intentarán representar matemáticamente estos comportamientos. El entendimiento de los estallidos como señales permitió eventualmente controlar el aprendizaje del sistema estudiado.

El proceso de formación de conceptos recién discutido incluyó la transferencia y modificación de conceptos provenientes de la ingeniería y los estudios sobre el comportamiento de neuronas individuales, y la posterior formación de conceptos nuevos específicos para el comportamiento de las neuronas en red. Para tratar de entender el comportamiento del modelo in vitro los investigadores desarrollaron un modelo computacional. Fue la interacción entre estos modelos, in vitro e in silico, lo que dio lugar al nuevo concepto de CAT para entender la actividad neuronal (Nersessian, 2012b, p. 230).

### **3.3. Discusión: Conceptos como herramientas cognitivas**

Me parece que el caso de CAT y otros ejemplos similares pueden mostrar por qué nuestro entendimiento acerca del origen y función de los conceptos requiere de un estudio de los



componentes en evolución dentro de un sistema de cognición científica. Se ha discutido entonces cómo las prácticas de razonamiento en el laboratorio construyen conceptos científicos, y cómo en el desarrollo de estas prácticas el sistema cognitivo (que incluye tanto a los investigadores como a los modelos y artefactos en el ambiente) se modifica. Implícita en estas consideraciones está también la idea de que los conceptos permiten desempeñar ciertas tareas cognitivas y que en ese sentido los conceptos pueden pensarse como herramientas que desempeñan una labor importante en la tarea de construir conocimiento. Esta sección estará dedicada a la ampliación de estas consideraciones. En lo que resta del capítulo argumentaré que el surgimiento de maneras novedosas de razonar depende en buena medida de la disponibilidad de herramientas cognitivas como los conceptos científicos. Atendamos primero la relación de coevolución y modificación entre los elementos de un sistema de cognición distribuida.

En un sistema de cognición distribuida como el laboratorio científico, los modelos físicos y computacionales encarnan el entendimiento y las suposiciones que los investigadores tienen del fenómeno estudiado en un momento determinado. Los conceptos y los modelos no existen únicamente como representaciones dentro de las cabezas de los agentes, éstos toman también la forma de recursos externos como los artefactos que funcionan como modelos en el laboratorio. En concordancia con la idea de cognición distribuida, el razonamiento científico se da en el acoplamiento entre investigadores y artefactos, se encuentra distribuido en los diversos modelos (sitios de experimentación sistemática) que son a su vez subsistemas del laboratorio entendido como sistema dinámico de cognición distribuida.

Nersessian y colegas (*e.g.* Nersessian, 2006; Nersessian et al, 2003; Kurz-Milcke et al, 2004) utilizan la expresión “alianza cognitiva” (*cognitive partnership*) para caracterizar la relación de mutualidad e integración que se da entre agentes y artefactos. Esta relación de integración es cambiante en el tiempo e involucra la intersección de las trayectorias de desarrollo de los miembros de la relación. Esta alianza cognitiva modifica sustancialmente las posibilidades de la cognición, por lo que las herramientas no son meras extensiones o potenciadoras de las capacidades y posibilidades que el agente tiene con independencia de ellas. Mientras que los teóricos de la cognición extendida tratan de mantener una equivalencia funcional entre el individuo y el sistema cuando se lo extiende más allá de la barrera individual hacia el ambiente o la situación, los teóricos de la cognición distribuida se concentran en casos en los que la

integración de agentes y otro tipo de recursos externos permite resolver problemas que prácticamente serían imposibles de atacar de una manera no-distribuida (Cheon, 2014, p. 28).

Las trayectorias intersecantes de agentes y artefactos se traducen tanto en modificaciones en el diseño y las características de los artefactos como en el modo de cognición o tipo de razonamiento del agente. Agentes y artefactos evolucionan juntos, la evolución del sistema depende de esta interacción. Las propiedades informacionales del artefacto son transformadas, y dependiendo de la cantidad del uso y de la profundidad de la integración cognitiva, el aparato también pudo transformar el sistema cognitivo interno de su usuario: el investigador aprende a pensar en términos de las propiedades informacionales del artefacto (Heersmink, 2016, p. 535). Así, el razonamiento y los procesos inferenciales se dan en los sistemas que constan de investigadores, modelos y artefactos.

Los aparatos y modelos son puntos focales alrededor de los cuales las prácticas de investigación se articulan y entrelazan. Puede pensarse a los aparatos en términos de la cultura material de la comunidad, pero también en términos de lo que en los estudios cognitivos se denomina “artefactos cognitivos”. Los artefactos cognitivos participan de procesos representacionales, de razonamiento y solución de problemas en un sistema distribuido (Nersessian, 2009, p. 754).

Que los conceptos puedan ser considerados herramientas, a la manera de los artefactos como los recién aludidos, es un asunto que requiere de más argumentación. Una noción popular de artefacto cognitivo es aquella según la cual “los artefactos cognitivos son *medios materiales* que poseen propiedades cognitivas para generar, manipular o propagar representaciones” (Kurz-Milcke et al., 2004, p. 681, mis cursivas). Así pues, la noción de artefacto está ligada a una cierta idea de materialidad que resulta extraño atribuirle a los conceptos, y de nuevo la noción de los conceptos como ítems mentales o lingüísticos vuelve a pesar en nuestras consideraciones. Sin embargo, puede argumentarse que los conceptos, en tanto que posibilitadores de prácticas que tienen un rol en la investigación, pueden ser considerados herramientas, independientemente de si se trata de entidades físicas o no.

La idea de que los conceptos son herramientas que impactan las prácticas de investigación y razonamiento en las ciencias está presente en literatura contemporánea en

filosofía de la ciencia (*e.g.* Feest & Steinle, 2012; Smith, 2019) y en interpretaciones también recientes de autores más clásicos como Canguilhem (que se discutió en el capítulo pasado). Pero, ¿cuáles son las funciones cognitivas de los conceptos? Una de las funciones de los conceptos más destacadas en la literatura contemporánea (*e.g.* Nersessian & Arabatzis, 2015; Schmidgen, 2014; Feest, 2010) es la identificación de fenómenos en etapas iniciales de la investigación, lo que permite intervenciones y manipulaciones en contextos de investigación exploratoria. Este uso de los conceptos permite establecer e identificar regularidades empíricas. Como ejemplos podríamos aludir al concepto de líneas de fuerza de Faraday (al que Gooding, 1990, llama un concepto fenoménico) o al concepto de la electricidad dual de Dufay del que también se habló en el capítulo pasado (*Cf.* Steinle, 2010).

En otro tipo de situaciones conceptos provenientes de otras áreas de investigación son “importados” como guías de investigación en el nuevo terreno desconocido. Los conceptos pueden viajar fuera de sus contextos teóricos originales y servir como fuentes de analogía para la comprensión y manipulación de fenómenos y problemas técnicos en otras áreas de estudio (*Cf.* Nersessian & Arabatzis, 2015).

En el ejemplo del desarrollo del concepto del CAT, vimos cómo los investigadores “importaron” el concepto de “estallido” de los estudios sobre neuronas individuales, y el concepto de ruido tal y como se lo usa en ingeniería. Lo interesante de este caso es que los conceptos sugieren a los investigadores protocolos y analogías para seguir explorando el fenómeno e incluso construir modelos que ofrezcan nuevas posibilidades de razonamiento. Esto se debe a que en los conceptos quedan implícitos ciertos protocolos y procedimientos. Retomando un planteamiento de Canguilhem también tratado en el capítulo anterior, los conceptos poseen una dimensión técnica y pragmática, y al estar relacionados con intervenciones y operaciones concretas pudiéramos decir que también tienen una dimensión corporal. Estos protocolos y conocimiento implícito ligada a procesos y a la utilización de artefactos se transmiten entre investigadores provenientes de diversas disciplinas trabajando en aspectos del mismo problema.

Del mismo modo, una vez que se cuenta con nuevos conceptos, la comunidad puede concebir nuevas intervenciones y líneas de investigación. Los conceptos incorporan nuevas maneras de razonar acerca de los fenómenos y conducen a la reestructuración del sistema

cognitivo mismo. Con los conceptos se llega a reconocer los fenómenos para los que fueron desarrollados y se puede llegar a pensar acerca del fenómeno en cuestión, intervenir y manipular el fenómeno (hacer cosas con él, que en el contexto del laboratorio viene a ser lo mismo que pensar) y ampliar el contenido del concepto a través de la investigación futura. Estos diversos roles son desempeñados por herramientas que a pesar de no satisfacer el requisito de la materialidad en la definición pasada de artefacto cognitivo están ligadas a operaciones concretas dentro del sistema del laboratorio. En palabras de Martínez, “los artefactos no son meramente cosas con una función. Como hemos visto, las pruebas, teoremas, y otras clases de estructuras normativas y rutinarias son artefactos” (2014, p. 257). La discusión de Martínez es aquella acerca de cómo lo que él llama tecnologías de la cognición desempeñan el papel de andamios para la diversificación de normas y estándares y que por lo tanto éstas representan un factor clave en la evolución de la cognición (Martínez, 2014, p. 259), y como él lo expone, tales tecnologías tienen manifestaciones muy distintas y no se trata exclusivamente de objetos materiales. Marcos de análisis como este permitirían seguir pensando en el carácter de herramienta de los conceptos y en el papel que desempeñan en el desarrollo de la cognición científica.

Reconocer la historicidad de los conceptos científicos es reconocer la historicidad y dinamismo de sus contextos de surgimiento como son los laboratorios (sistemas de cognición distribuida) donde se producen innovaciones conceptuales partiendo de conceptos, procesos y artefactos previamente existentes. En este sentido, el cambio conceptual es también una transformación cognitiva que tiene consecuencias respecto a la forma y los medios con que los investigadores razonan así como para el relieve o el panorama general del sistema cognitivo donde los científicos trabajan.

## **Conclusiones: Conceptos, herramientas y el desarrollo de la cognición científica**

Este trabajo buscó indagar el impacto que tienen los conceptos científicos para el desarrollo de la práctica y la cognición científica a partir de perspectivas históricas centradas en la práctica y de estudios ecológicos y sociales sobre la cognición científica. Con este fin, me propuse plantear un recorrido desde posiciones clásicas acerca del cambio conceptual hasta estudios contemporáneos que abordan los procesos de formación de conceptos en contextos situados de cognición científica.

Después de una breve revisión de los debates clásicos ligados al significado de los términos científicos y a la racionalidad del cambio científico, se abordó la perspectiva de la epistemología histórica como un modo interesante y fructífero de elaborar la idea de que los conceptos científicos son entidades históricas. Decir que los conceptos tienen historicidad nos remitió al desarrollo de las prácticas donde los conceptos surgen y se operacionalizan, aspectos descuidados en los debates acerca de si es racional decidir trabajar con una u otra estructura conceptual. La importancia del ambiente, las prácticas experimentales y la estructura social de las comunidades productoras de conocimiento científico se exploró después desde un punto de vista cognitivo.

En la transición desde los enfoques positivistas e historicistas clásicos hacia posiciones como la epistemología histórica de Canguilhem, se observó un desplazamiento desde la cuestión de la semántica de los conceptos a los procesos que los configuran y su rol en la práctica y la investigación científica. Entre las funciones destacables de los conceptos encontramos que éstos permiten identificar y explorar fenómenos desconocidos a través del desarrollo de nuevos modos de experimentación.

Los conceptos surgen en las prácticas de investigación y se operacionalizan y articulan en artefactos como los modelos y otros tipos de representaciones externas a la mente de los usuarios. El razonamiento es llevado a cabo por el sistema cognitivo conformado por agentes y artefactos. Esta dimensión técnica y operativa de los conceptos se establece en el transcurso de prácticas históricas contingentes, de ahí que un análisis histórico centrado en prácticas sea también un elemento importante para los estudios cognitivos de la ciencia.

En las prácticas de investigación que revisé, a partir de la experimentación con modelos y otros constructos que modifican las posibilidades de acción y razonamiento en el laboratorio científico, surgen propiedades o comportamientos inesperados. La comprensión de estos comportamientos emergentes requiere de la formulación de nuevos conceptos que a su vez sugieren nuevas formas de encaminar la investigación de estos fenómenos, de modo que se pueda llegar a la solución de algunos de los problemas que motivaron la creación de sistemas de experimentación como los laboratorios de bioingeniería. Marcos interpretativos provenientes de la investigación contemporánea en ciencias cognitivas como la idea de cognición situada y distribuida se utilizaron para dar cuenta de la formación de conceptos en espacios como estos.

En el último capítulo revisé especialmente el trabajo de Nersessian y colegas acerca de los procesos cognitivos involucrados en la formación de conceptos en contextos reales de cognición científica. Entre estos procesos destacaron la construcción y razonamiento a partir de modelos y su manipulación, el razonamiento analógico y razonamiento visual a partir de recursos externos distribuidos en el ambiente. En este contexto, busqué plantear un símil entre los conceptos científicos y una noción de herramientas cognitiva o epistémica. Sostuve que en marcos interpretativos como el de la llamada cognición distribuida, el estudio de las prácticas generadoras de conceptos (como la modelación de fenómenos) muestran cómo la modificación y desarrollo de conceptos científicos tienen un impacto en el ambiente y los modos de razonamiento y solución de problemas desplegados en el laboratorio.

La relación de los conceptos con protocolos, técnicas y habilidades de investigación, así como con el desarrollo de artefactos y modelos, hacen posible que éstos puedan desempeñar diversas funciones en el transcurso de la investigación. Así pues, si se trabaja con una noción de artefacto cognitivo no restringida a objetos materiales, es plausible pensar a los conceptos como herramientas cognitivas o epistémicas para crear e intervenir los fenómenos, y, más todavía, que el desarrollo de este tipo de herramientas es un factor importante para comenzar a plantear y comprender lo que significa la idea de progreso o desarrollo científico en términos cognitivos.

Si podemos defender que los conceptos sirven como herramientas y que son un tipo de artefacto cognitivo, quizás podríamos tomar esto como una pauta para seguir investigando el efecto perdurable de los artefactos cognitivos en el desarrollo de la cognición y las diferentes formas de razonamiento que caracterizan a la ciencia.

## Referencias Bibliográficas

- Andersen, H. (2012). Scientific Concepts and Conceptual Change. En V. Kindi & T. Arabatzis (Eds.), *Kuhn's structure of scientific revolutions revisited* (pp. 179-204). Routledge.
- Andersen, H., Barker, P., & Chen, X. (2006). *The Cognitive Structure of Scientific Revolutions*. Cambridge University Press.
- Arabatzis, T., & Kindi, V. (2008). The Problem of Conceptual Change in the History and Philosophy of Science. En S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research in Conceptual Change*. Routledge.
- Barsalou, L. W. (1992). Frames, concepts, and conceptual fields. En *Frames, fields, and contrasts: New essays in semantic and lexical organization*. (pp. 21-74). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Canguilhem, G. (1977). *La formation du concept de réflexe aux XVIIe et XVIIIe siècles*. Presses Universitaires de France.
- Canguilhem, G. (2002). Théorie et technique de l'expérimentation chez Claude Bernard. En G. Canguilhem, *Études d'histoire et de philosophie des sciences concernant les vivants et la vie* (Séptima). Vrin.
- Canguilhem, G. (2005). The Object of the History of Sciences. En G. Gutting (Ed.), *Continental Philosophy of Science* (pp. 198-207). Blackwell Pub.
- Canguilhem, G. (2008a). Experimentation in Animal Biology. En P. Marrati & T. Meyers (Eds.), & S. Geroulanos & D. Ginsburg (Trads.), *Knowledge of Life* (pp. 3-24). Fordham University Press.
- Canguilhem, G. (2008b). The Living and Its Milieu. En P. Marrati & T. Meyers (Eds.), *Knowledge of Life* (pp. 98-120). Fordham University Press.
- Canguilhem, G. (2008c). *The Normal and the Pathological* (De G. Canguilhem; P. Marrati & T. Meyers, Eds.; pp. 121-133). Fordham University Press.
- Canguilhem, G., & Planet, C. (1939). *Traité de Logique et de Morale*. Robert et fils.
- Carruthers, P., Stich, S., & Siegal, M. (Eds.). (2002). *The cognitive basis of science*. Cambridge University Press.

- Cheon, H. (2014). Distributed Cognition in Scientific Contexts. *Journal for General Philosophy of Science*, 45(1), 23-33. <https://doi.org/10.1007/s10838-013-9226-4>
- Feest, U. (2010). Concepts as Tools in the Experimental Generation of Knowledge in Cognitive Neuropsychology. *Spontaneous Generations*, 4(1), 173-190.
- Feest, U. (2012). Exploratory Experiments, Concept Formation, and Theory Construction in Psychology. En U. Feest & F. Steinle (Eds.), *Scientific Concepts and Investigative Practice* (pp. 167-189). De Gruyter.
- Feest, U., & Steinle, F. (Eds.). (2012). *Scientific concepts and investigative practice*. De Gruyter.
- Feldman, A. (2016). The Concept in Life and the Life of the Concept: Canguilhem's Final Reckoning with Bergson. *Journal of French and Francophone Philosophy*, 24(2), 154-175.
- Feyerabend, P. (1981a). Explanation, Reduction and Empiricism. En *Realism, rationalism and scientific method*. Cambridge University Press.
- Feyerabend, P. (1981b). On the «meaning» of scientific terms. En P. Feyerabend (Ed.), *Realism, rationalism and scientific method*. Cambridge University Press.
- Friedman, M. (1999). *Reconsidering Logical Positivism*. Cambridge University Press.
- Gallagher, S., & Varga, S. (2020). Meshed Architecture of Performance as a Model of Situated Cognition. *Frontiers in Psychology*, 11, 2140. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.02140>
- Gavroglu, K., & Goudaroulis, Y. (1989). *Methodological Aspects of the Development of Low Temperature Physics 1881–1956* (Vol. 4). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-2556-4>
- Giere, R. (2007). Cognitive Studies of Science and Technology. En M. Lynch, E. J. Hackett, O. Amsterdamska, & J. Wajcman (Eds.), *The Handbook of Science and Technology Studies* (Tercera, pp. 259-278). The MIT Press.
- Gooding, D. (1990). *Experiment and the Making of Meaning Human Agency in Scientific Observation and Experiment*.
- Gutting, G. (Ed.). (2005). *Continental philosophy of science*. Blackwell Pub.



- Hacking, I. (1983). *Representing and Intervening: Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*. Cambridge University Press.
- Hacking, I. (1992). The Self-Vindication of the Laboratory Sciences. En A. Pickering (Ed.), *Science as Practice and Culture* (pp. 29–64). University of Chicago Press.
- Hahn, H., Carnap, R., & Neurath, O. (1996). The scientific conception of the world. En S. Sarkar (Ed.), *The emergence of logical positivism. From 1900 to the Vienna Circle* (pp. 321-340). Garland.
- Heersmink, R. (2016). The cognitive integration of scientific instruments: Information, situated cognition, and scientific practice. *Phenomenology and the Cognitive Sciences*, 15(4), 517-537. <https://doi.org/10.1007/s11097-015-9432-0>
- Hoyningen-Huene, P. (1993). *Reconstructing Scientific Revolutions: Thomas S. Kuhn's Philosophy of Science*. The University of Chicago Press.
- Hoyningen-Huene, P., & Sankey, H. (Eds.). (2001). *Incommensurability and Related Matters* (Dordrecht). Springer Science + Business Media Dordrecht.
- Hutchins, E. (1995). *Cognition in the Wild*. The MIT Press.
- Hyder, D. J. (2010). Foucault, Cavallès, and Husserl on the Historical Epistemology of the Sciences. En D. J. Hyder & H.-J. Rheinberger (Eds.), *Science and the Life World: Essays on Husserl's Crisis of the European Crisis* (pp. 177-198). Stanford University Press.
- Hyder, D. J., & Rheinberger, H.-J. (Eds.). (2010). *Science and the life-world: Essays on Husserl's Crisis of European sciences*. Stanford University Press.
- Kuhn, T. S. (1970b). Reflections on my critics. En I. Lakatos & A. Musgrave (Eds.), *Criticism and the Growth of Knowledge: Proceedings of the International Colloquium in the Philosophy of Science* (pp. 231-278). Cambridge University Press.
- Kuhn, T. S. (1970a). *The Structure of Scientific Revolutions* (Segunda Edición). The University of Chicago Press.
- Kuhn, T. S. (1974). Second Thoughts on Paradigms. En T. S. Kuhn, *The Essential Tension: Selected Studies in Scientific Tradition and Change* (pp. 293-319). The University of Chicago Press.

- Kuhn, T. S. (2000). *The Road Since Structure: Philosophical essays, 1970-1993, with an autobiographical interview*. (J. Conant & J. Haugeland, Eds.). University of Chicago Press.
- Latour, B. (1987). *Science in Action: How to Follow Scientists and Engineers Through Society*. Harvard University Press.
- Latour, B. (1999). *Pandora's hope*. Harvard University Press.
- Latour, B., & Woolgar, S. (1986). *Laboratory Life: The construction of scientific facts*. Princeton University Press.
- MacLeod, M., & Nersessian, N. (2016). Interdisciplinary problem- solving: Emerging modes in integrative systems biology. *European Journal for Philosophy of Science*, 6(3), 401-418. <https://doi.org/10.1007/s13194-016-0157-x>
- Marrati, P., & Meyers, T. (2008). Foreword: Life as Such. En P. Marrati & T. Meyers (Eds.), *Knowledge of Life* (pp. vii-xii). Fordham University Press.
- Martínez, S. (2014). Technological Scaffoldings for the Evolution of Culture and Cognition. En L. R. Caporeal, J. R. Griesemer, & W. C. Wimsatt (Eds.), *Developing Scaffolds in Evolution, Culture, and Cognition* (pp. 249-263). The MIT Press.
- Martínez, S., & Huang, X. (2015). *Hacia una filosofía de la ciencia centrada en prácticas*. Bonilla Artigas Editores/ Instituto de Investigaciones Filosóficas, UNAM.
- Méthot, P.-O. (2013). On the genealogy of concepts and experimental practices: Rethinking Georges Canguilhem's historical epistemology. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 44(1), 112-123. <https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2012.06.002>
- Nagel, E. (1979). *The Structure of Science*. Hackett.
- Nersessian, N., & Andersen, H. (1997). Conceptual change and incommensurability: A cognitive-historical view. *Danish Yearbook of Philosophy*, 32, 111-152.
- Nersessian, N. J. (1984). *Faraday to Einstein: Constructing Meaning in Scientific Theories* (Vol. 38, Número 4, pp. 575-577). Kluwer Academic Publishers.
- Nersessian, N. J. (1995). Opening the Black Box: Cognitive Science and History of Science. *Osiris*, 10, 194-211. <https://doi.org/10.1086/368749>

- Nersessian, N. J. (2006). The Cognitive-Cultural Systems of the Research Laboratory. *Organization Studies*, 27(1), 125-145. <https://doi.org/10.1177/0170840606061842>
- Nersessian, Nancy. (1992). How do Scientists Think? Capturing the Dynamics of Conceptual Change in Science. En R. Giere & H. Feigl (Eds.), *Cognitive Models of Science* (Vol. 15, pp. 3--45). University of Minnesota Press.
- Nersessian, Nancy. (2002). "The cognitive basis of model-based reasoning in science". En *The cognitive basis of science* (pp. 133-153). Cambridge University Press.
- Nersessian, Nancy. (2005). Interpreting Scientific and Engineering Practices: Integrating the Cognitive, Social, and Cultural Dimensions. En M. E. Gorman (Ed.), *Scientific and technological thinking* (pp. 17-56). L. Erlbaum.
- Nersessian, Nancy. (2008). *Creating Scientific Concepts*. The MIT Press.
- Nersessian, Nancy. (2009). How Do Engineering Scientists Think? Model-Based Simulation in Biomedical Engineering Research Laboratories. *Topics in Cognitive Science*, 1(4), 730-757. <https://doi.org/10.1111/j.1756-8765.2009.01032.x>
- Nersessian, Nancy. (2012a). Modeling Practices In Conceptual Innovation. An Ethnographic Study of a Neural Engineering Research Laboratory. En U. Feest & F. Steinle (Eds.), *Scientific Concepts and Investigative Practice* (pp. 245-269). De Gruyter.
- Nersessian, Nancy. (2012b). Engineering Concepts: The Interplay between Concept Formation and Modeling Practices in Bioengineering Sciences. *Mind, Culture, and Activity*, 19(3), 222-239. <https://doi.org/10.1080/10749039.2012.688232>
- Nersessian, Nancy. (2019). Interdisciplinarity in Action: Cognitive Ethnography of Bioengineering Sciences Research Laboratories. *Perspectives on Science*, 27(4), 553-581.
- Nersessian, Nancy, & Arabatzis, T. (2015). Concepts Out of Theoretical Contexts. En A. Simões, J. Renn, & T. Arabatzis (Eds.), *Relocating the History of Science*. Springer Verlag.
- Osbeck, L. M., & Nersessian, N. (2006). The distribution of representation. *Journal for the Theory of Social Behaviour*, 36(2), 141–160.
- Osbeck, L. M., & Nersessian, N. J. (2014). Situating distributed cognition. *Philosophical Psychology*, 27(1), 82-97. <https://doi.org/10.1080/09515089.2013.829384>

- Pickering, A. (1992). *Science as Practice and Culture* (pp. 168--211). University of Chicago Press.
- Rheinberger, H.-J. (1997). *Toward a History of Epistemic Things*. Stanford University Press.
- Rheinberger, H.-J. (2005). Reassessing the Historical Epistemology of Georges Canguilhem. En G. Gutting (Ed.), *Continental Philosophy of Science* (pp. 187-197). Blackwell Pub.
- Rheinberger, H.-J. (2010a). *On Historicizing Epistemology: An Essay* (D. Fernbach, Trad.). Stanford University Press.
- Rheinberger, H.-J. (2010b). On the Historicity of Scientific Knowledge: Ludwik Fleck, Gaston Bachelard, Edmund Husserl. En D. J. Hyder & H.-J. Rheinberger (Eds.), *Science and the life-world: Essays on Husserl's Crisis of the European Sciences* (pp. 164-176). Stanford University Press.
- Rosch, E. (1975). Cognitive representations of semantic categories. *Journal of Experimental Psychology: General*, 104(3), 192-233.
- Rouse, J. (2002). Kuhn's Philosophy of Scientific Practice. En T. Nickles (Ed.), *Thomas Kuhn* (pp. 101-121). Cambridge University Press; Cambridge Core. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511613975.006>
- Sankey, H. (1994). *The Incommensurability Thesis*. Avebury.
- Schmidgen, H. (2014). The life of concepts: Georges Canguilhem and the history of science. *History and Philosophy of the Life Sciences*, 36(2), 232-253. <https://doi.org/10.1007/s40656-014-0030-1>
- Smith, E. T. (2019). Examining the Structured Uses of Concepts as Tools: Converging Insights. *Filozofia Nauki*, 27(4), 7-22. <https://doi.org/10.14394/filnau.2019.0023>
- Steinle, F. (2010). Concepts, Facts, and Sedimentation in Experimental Science. En D. J. Hyder & H.-J. Rheinberger (Eds.), *Science and the life-world: Essays on Husserl's Crisis of European sciences* (pp. 199-214). Stanford University Press.
- Thagard, P. (2008). Conceptual Change in the History of Science: Life, Mind, and Disease. En S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 374-387). Routledge.

Thagard, P. (2012). *The cognitive science of science: Explanation, discovery, and conceptual change*. MIT Press.

Vygotsky, L. (2012). *Thought and Language: Revised and expanded edition* (A. Kozulin, Ed.). The MIT Press.

Wilson, R. A., & Clark, A. (2009). How to situate cognition: Letting nature take its course. En M. Aydede & P. Robbins (Eds.), *The Cambridge Handbook of Situated Cognition* (pp. 55--77). Cambridge University Press.

Wittgenstein, L. (1986). *Philosophical Investigations* (G. E. M. Anscombe, Trad.). Basil Blackwell