UN MODELO EXPERIENCIALISTA DE LA COGNICIÓN APLICADO AL ESTUDIO FILOSÓFICO DE LA CIENCIA

AUTOR: IVÁN REDONDO ORTA

DIRECTORA: ANNA ESTANY I PROFITÓS

DEPARTAMENTO DE FILOSOFÍA
ÁREA DE LÓGICA I FILOSOFÍA DE LA CIENCIA
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BARCELONA

2012

TESIS DOCTORAL

ÍNDICE

RESUMEN……...5

ABSTRACT……..6

AGRADECIMIENTOS……7

PRÓLOGO……...8

NOTAS SOBRE CITAS Y REFERENCIAS……20

PARTE 1: PARALELISMOS ENTRE LAS TRES GENERACIONES EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA Y CIENCIAS COGNITIVAS. DOS DISCIPLINAS CON DESTINOS COMPARTIDOS

1. INTRODUCCIÓN……..21
2. PRIMERA GENERACIÓN: SISTEMAS FORMALES Y CORRESPONDENCIA CON LA REALIDAD……..21
   - 2.1. LA FILOSOFÍA ANALÍTICA COMO FUENTE DE INSPIRACIÓN COMÚN……21
   - 2.2. LA CONCEPCIÓN HEREDADA EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA……...24
     - 2.2.1. IMPLICACIONES EPISTÉMICAS DE LA C.H…….....28
     - 2.2.2. CUESTIONES COGNITIVAS SUBYACENTES AL PROYECTO DE LA CONCEPCIÓN HEREDADA…….28
   - 2.3. COGNITIVISMO, SISTEMAS FÍSICOS DE SÍMBOLOS Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN…….30
     - 2.3.1. PROPIEDADES DE LA COGNICIÓN DESTACADOS EN LA PRIMERA GENERACIÓN……..40
3. SEGUNDA GENERACIÓN: REDES DE SIGNIFICADOS Y CONSTRUCCIÓN DE MUNDOS……41
   - 3.1. CRÍTICAS A LA PRIMERA GENERACIÓN Y PRIMERAS PROPUESTAS ALTERNATIVAS……...41
     - 3.1.1. LIMITACIONES DE LA FORMALIZACIÓN DE LA COGNICIÓN HUMANA Y REIVINDICACIÓN DE LA SEMÁNTICA…….....42
     - 3.1.2. PROBLEMAS DE LA AXIOMATIZACIÓN: TRANSICIÓN DE LA C.H. A LA NUEVA FILOSOFÍA DE LA CIENCIA……...46
   - 3.2. KUHN Y LA NUEVA FILOSOFÍA DE LA CIENCIA…….....50
     - 3.2.1. IMPLICACIONES DE LA NUEVA FILOSOFÍA DE LA CIENCIA: EL PESIMISMO EPISTÉMICO…….....53
     - 3.2.2. PROBLEMAS DE PRECISIÓN DE LOS CONCEPTOS DEL MODELO KUHNIANO Y LA PREGUNTA POR LAS BASES COGNITIVAS……56
   - 3.3. COGNICIÓN, REDES SEMÁNTICAS Y REDES NEURONALES……57
     - 3.3.1. PARADIGMAS, SEMÁNTICA Y SISTEMAS EXPERTOS…….....57

3.3.2. PROTOTIPOS, ESQUEMAS Y CONEXIONES NEURONALES…….61
3.3.3. PROPIEDADES DE LA COGNICIÓN SEGÚN LA SEGUNDA GENERACIÓN……..67
4. TERCERA GENERACIÓN: CONTEXTO Y ACCIÓN…….....68
4.1. TRADICIÓN EXPERIMENTAL: IMPLICACIONES EPISTÉMICAS…….68
4.2. ENACCIÓN, COGNICIÓN SITUADA Y CORPORIZADA……..72
5. CONCLUSIÓN……...76

PARTE 2: EXPERIENCIALISMO. HACIA UNA TEORÍA INTEGRADA Y UNIFICADA DE LA COGNICIÓN HUMANA
1. INTRODUCCIÓN……..……78
2. PERCEPCIÓN Y ACCIÓN: BASES EXPERIENCIALES DE LA COGNICIÓN……...82
2.1. PARADIGMA SIMBÓLICO Y PERCEPCIÓN……..82
2.2. ‘AFFORDANCES’ Y CONTINGENCIAS SENSORIMOTORAS……86
2.3. EL CICLO PERCEPTIVO: EXPERIENCIA, PROPÓSITOS Y GENERACIÓN DE SENTIDO……93
3. EXPERIENCIA, PERCEPCIÓN Y PROCESOS COGNITIVOS……98
3.1. PLANES DE ACCIÓN Y SIGNIFICACIÓN SIN CATEGORÍAS……98
3.2. ESQUEMAS ANTICIPATIORIOS DESLIGADOS DEL CICLO PERCEPTIVO…….....100
3.3. PULSO EPISTÉMICO ENTRE LOS POLOS SUBJETIVO Y OBJETIVO DE LA EXPERIENCIA Y LA COGNICIÓN……..103
4. PRÁCTICAS CULTURALES Y EXPERIENCIA: EMERGENCIA DE LAS PROPIEDADES DE LOS PROCESOS COGNITIVOS INTERSUBJETIVOS……107
4.1. MENTE EXTENDIDA Y COGNICIÓN SOCIALMENTE DISTRIBUIDA……107
4.2. PRÁCTICAS CULTURALES Y TRANSFORMACIÓN DE LA EXPERIENCIA……110
4.2.1. PRÁCTICAS CULTURALES Y REDES DE SIGNIFICACIÓN……...112
4.2.2. ESTRUCTURACIÓN Y SISTEMATICIDAD DE LA EXPERIENCIA Y LA COGNICIÓN……...112
4.2.3. SÍMBOLOS Y REPRESENTACIONES……..114
4.2.4. INTERVENCIÓN EN EL MUNDO Y SU INFLUENCIA EN LOS PROCESOS COGNITIVOS……115
5. LENGUAJE: PUENTE ENTRE EXPERIENCIA Y COGNICIÓN……117
5.1. EL LENGUAJE EN EL SENO DE LA EXPERIENCIA……..118
5.2. CORPORALIDAD, INTERACCIÓN Y ESTRUCTURA DEL LENGUAJE……..121
5.3. HABILIDAD SENSORIMOTORA Y LÉXICO……124
5.4. PERSPECTIVAS, PROPÓSITOS, CREATIVIDAD Y TRANSFORMACIÓN DE LA EXPERIENCIA……126
5.4.1. CONCEPTUALIZACIÓN Y PROYECCIONES METAFÓRICAS……...129

5.4.2. PROCESOS DE FUSIÓN CONCEPTUAL……134
6. CONCLUSIÓN……139

PARTE 3: LA DINÁMICA DE LAS PRÁCTICAS CIENTÍFICAS
1. INTRODUCCIÓN……141
2. ASPECTOS DE LA ACTIVIDAD CIENTÍFICA: TEORÍA Y EXPERIMENTACIÓN……145
   2.1. EL EXPERIMENTO COMO EXPLORACIÓN SISTEMÁTICA DEL ENTORNO……146
   2.2. MODELOS TEÓRICOS: PROYECCIONES METAFÓRICAS Y FUSIONES CONCEPTUALES…….....159
3. EXPERIENCIA Y MATEMÁTICA: DE LA PRÁCTICA A LOS DIAGRAMAS……166
   3.1. LA REVOLUCIÓN ASTRONÓMICA DEL RENACIMIENTO: MODELOS TEÓRICOS COMO GUÍAS DE LA EXPERIENCIA……174
4. LA OBJETIVACIÓN DEL MOVIMIENTO: CIENCIA Y MECÁNICA……178
   4.1. DINÁMICA ENTRE TEORÍA Y EXPERIMENTACIÓN: GALILEO……..178
   4.2. MECÁNICA NEWTONIANA: TRANSFORMACIÓN DE LOS ESQUEMAS EXPLORATORIOS Y LAS ESTRUCTURAS MATERIALES DEL MUNDO…..…….....186
5. MÁS ALLÁ DE LA MECÁNICA: DINÁMICA ENTRE TEORÍA Y EXPERIMENTACIÓN EN ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO……..200
   5.1. AUTONOMÍA RELATIVA DE LA EXPERIMENTACIÓN Y CARGA EXPERIMENTAL DE LA TEORÍA……201
   5.2. INTERRELACIONES ENTRE TEORÍA Y EXPERIMENTACIÓN: BASE COMÚN DE MODELOS ANTAGÓNICOS……..……211
   5.3. USOS PRAGMÁTICOS DEL MODELO COMO GUÍA DE LOS DISEÑOS EXPERIMENTALES……217
6. CONCLUSIÓN……227

CONSIDERACIONES FINALES……..228

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS……234

RESUMEN:

Este trabajo tiene como objetivo principal ofrecer un modelo filosófico de la ciencia que asuma la complejidad de la dinámica de sus diferentes procesos y actividades. Para ello, se partirá de un enfoque naturalizado de la filosofía de la ciencia, en el que se utilizará la investigación en ciencias cognitivas y sus hallazgos empíricos y conceptuales sobre el funcionamiento de la mente humana y la naturaleza de los procesos cognitivos para sentar las bases de cómo llevan a cabo los científicos las actividades de experimentación y teorización, así como la relación entre ellas.

Los modelos filosóficos de la ciencia que han predominado desde los inicios de esta disciplina hasta la actualidad nos han permitido comprender esta actividad humana con mayor profundidad, y nos han dejado un legado inestimable de herramientas de análisis lógicas y conceptuales. Sin embargo, hay aún algunos obstáculos por superar. Por un lado, los modelos en filosofía de la ciencia que han ocupado la hegemonía de la disciplina hasta la actualidad han enfatizado algunos aspectos de la actividad científica, dejando otros como algo secundario, lo que ha llevado a analizar la ciencia de un modo parcial. Por otro lado, estos modelos han partido de unos presupuestos acerca de cómo funciona la mente humana (que no han sido explicitados). Posteriormente, cuando en el campo de las ciencias cognitivas se han estudiado en mayor profundidad estos presupuestos por modelos cognitivos inspirados parcialmente en los modelos de la filosofía de la ciencia, han aparecido problemas conceptuales y empíricos que han llevado a las ciencias cognitivas a descartar estos modelos explicativos y buscar otras bases conceptuales desde las que estudiar la cognición humana.

Para superar estos obstáculos, antes de centrarnos en el desarrollo de un modelo filosófico de la ciencia, dedicaremos una parte de esta tesis a proponer una teoría unificada e integrada de la cognición, que denominaremos 'experiencialismo'. Esta teoría partirá de los últimos hallazgos en ciencias cognitivas para partir de una base sólida. De este modo evitaremos partir de supuestos de la mente que posteriormente presenten problemas para explicar cómo funciona la cognición humana. En nuestro caso, partiremos de la base de que todos los procesos cognitivos (desde la percepción hasta el razonamiento abstracto) parten y se anclan en las bases corporales e interactivas de nuestra especie. En este sentido, decimos que nuestra teoría es una teoría unificada, ya que basa todos los procesos cognitivos en una misma propiedad fundamental de nuestra experiencia. Por otro lado, el modelo experiencialista de la cognición asumirá el reto de explicar de un modo coherente e integrado todas las propiedades de la cognición humana que han sido estudiadas por los modelos anteriores, ofreciendo así una imagen compleja de la cognición, en la que los diferentes procesos cognitivos parten de una misma base corporal e interactiva pero luego se relacionan entre sí de un modo dinámico y bidireccional, llegando a transformar nuestra propia experiencia, así como las estructuras materiales del mundo.

Sentadas las bases del modelo 'experiencialista' estaremos preparados para ofrecer un modelo filosófico de la ciencia capaz de explicar los diferentes elementos de la misma, así como las relaciones entre ellos. En nuestro trabajo nos limitaremos al análisis de la teoría y la experimentación científica, dejando de lado otros aspectos como los modelos conceptuales no teóricos, o métodos observacionales y cuasiexperimentales. En primer lugar, analizaremos separadamente la experimentación y la teoría. Veremos qué propiedades de la cognición estudiadas en el modelo experiencialista se utilizan en cada una de estas actividades de la ciencia, y cómo cada una de ellas conduce a diferentes resultados desde el punto de vista epistémico. También analizaremos el modo en que teoría y experimentación se anclan de un modo diferente en las bases corporales e interactivas de la experiencia y la cognición.

Finalmente, y lo que nos parece más importante, analizaremos de qué manera teoría y experimentación generan una dinámica interactiva y bidireccional, que da como resultado la objetivación de diferentes dominios de la experiencia humana. La idea principal de esta tesis es que la actividad experimental y la teoría tienen una autonomía relativa la una con respecto a la otra (a pesar de tener una base corporal e interactiva común), pero que es en su dinámica donde la ciencia produce sus mayores logros epistémicos, y una transformación efectiva del mundo y de nuestra experiencia mediante el desarrollo tecnológico. La teoría se convertirá de este modo en un aspecto esencial de la ciencia para llevar a la experimentación en nuevos dominios más allá de sí misma, partiendo de dominios de la experiencia que han alcanzado previamente un mayor nivel de objetivación.

ABSTRACT:

This work has as a main goal to offer a philosophical model of science. This model has to be able to account for the complexity of the dynamics of scientific practices. In order to do that, we assume a naturalized approach to philosophy of science, in which we use the research in cognitive science, at an empirical as well as at a conceptual level, considering what they conclude about the working of human mind and the nature of our cognitive processes. We will take in account this information to make a model of science and explain the way scientists carry out their theoretical and experimental research.

Philosophical models of science existing since its beginnings until today have allowed us to understand science in a deeper way, and they have given us an invaluable legacy of logical and conceptual tools of analysis. However, there are some obstacles to overcome. On one side, philosophical models of science that have been dominant have emphasized some aspects of science, taking others as someone secondary. This has allowed to analyze very deep some aspects of science, but in a partial way. On the other side, these models start of assumptions about how the human mind works (without being stated explicitly). Subsequently, these assumptions have been studied in cognitive science (being this discipline partly inspired in philosophical models of science), and they have had some conceptual and empirical problems. Consequently, cognitive scientists have ruled out these assumptions, looking for other conceptual basis to understand human cognition.

In order to overcome these problems, we will dedicate a central part of this thesis to propose an unified and integrated theory of human cognition, that we call 'experientialism'. This theory start from the last findings in cognitive science to establish a solid basis of our next analysis. Likewise, we avoid to start from assumptions of mind and cognition that can carry unexpected problems to explain how human cognition (and, therefore, scientific activity), works. In our case, we take the assumption that every cognitive process (from perception to abstract reasoning) comes out and is anchored or embedded in the corporal and interactive properties of human race. In that sense, we state that our theory is unified, since it acnhors every cognitive process in a unique and fundamental propoerty of our experience. On the other side, experiential theory of human cognition has the challenge of explaining in a coherent and integrated way every cognitive property of human cognition analyzed before for previous models of cognition, giving an integrated view of complexity of human cognition, in which different cognitive processes start from the same bodily and interactive basis, but go beyond, and lastly they relate to each other in a dynamical and bidirectional way, transforming our own experience, as well as the material structures of the world we live in.

Given these basis of experientialist model of cognition, we will be ready to develop a philosophical model of science able to account for its different aspects, as well as the relationship between them. We will resctrict our analysis of theory and experimentation in science, leaving other aspects as pretheoretical (or atheoretical) conceptual models, and observational and quasi-experimental methods. Firstly, we analyze experimentation and theory separately. We will study what properties of cognition mentioned in the experientialist model of cognition are related to each one of these aspects of science, and the way how they lead to different outcomes from an epistemical point of view. We will also analyze the way theory and experimentation are both of them anchored, in a different way, in the bodily and interactive basis of experience and human cognition.

Finally, the main proposal of this thesis is to highlight the way how theory and experimentation generate as interactive and bidirectional dynamics, that has as a result the objetivation of new domains of human experience. The main idea of this thesis is that experimental and theoretical activities have a relative autonomy to each other (although they have the same bodily and interactive basis), but it is in their dynamical relations where science produces its most important epistemological achievements, and an effective transformation of our experience and the material structures of the world we live in, by technological development. Theory in science is, in this way, an essential part of science, as long as it allows carry the experimentation in new domains of experience beyond itself, starting from phenomena that have got before a greater level of objetivation.

AGRADECIMIENTOS:

En primer lugar, quería agradecer, el soporte material e intelectual que me ha brindado el grupo TECNOCOG en estos años de investigación. Ha sido un lujo y un honor compartir reuniones y diálogos interminables con Mercè Izquierdo, Jordi Vallverdú, Thomas Sturm, Mónica Delgado, Rafael González del Solar, o Èric Arnau, entre otros, y especialmente a David Casacuberta, con quien he compartido inquietudes intelectuales y espirituales diversas, y quien me está ayudando en este proceso de elaboración de tesis doctoral.

Mi total agradecimiento a Anna Estany, que es la que ha hecho posible que viva esta experiencia inolvidable. Fue ella la que confió en mí, y la que me invitó a formar parte de TECNOCOG, y gracias a ella he podido formarme como investigador y docente y viajar a los lugares que he necesitado para seguir mi formación. Anna ha sido mi asesora principal en este proceso, guiándome tanto en la bibliografía como en el marco conceptual de este trabajo.

Gracias también a mi familia (padres, tíos, abuelos, primos) por haberme mantenido en una burbuja de paz y felicidad tantos años, lo que me ha permitido centrarme desde joven en tareas intelectuales. Sin este soporte material y afectivo no hubiera podido llegar a completar este trabajo. Gracias también a mis padres, Luis Miguel Carreño y Carmen Orta, y mi hermana, Verónica Redondo, por haberme permitido pensar en otra cosa y reírme cuando lo he necesitado.

Gracias a mi primo, Rubén Carreño, por nuestras reflexiones en torno a la mente humana, y por estar ahí y haber sido mi confidente desde que tengo uso de razón, y a mi ex alumno y amigo Marc Campos, porque ha supuesto para mí un estímulo intelectual desde que le conocí.

En último lugar, mis más sinceros agradecimientos para Cristina Moreno, quien está siendo mi verdadero catalizador en el proceso de madurez que he iniciado estos últimos años, y quien me ha escuchado tantas veces como lo he necesitado, siendo siempre mi más sincera oyente y mi más honesta crítica.

PRÓLOGO:

Este trabajo tiene un objetivo doble. Por un lado, se trata de una contribución tentativa al establecimiento de una teoría unificada e integrada de la cognición humana. En este sentido, la siguiente tesis doctoral se plantea un doble reto. En primer lugar, definimos una teoría integrada de la cognición como aquella capaz de dar cuenta de las diferentes propiedades de la cognición humana que los años de investigación en ciencias cognitivas han ayudado a analizar e investigar, hasta convertirse en propiedades con una gran aceptación por parte de científicos cognitivos que parten de modelos teóricos diferentes, a pesar de que luego éstos ofrezcan explicaciones distintas de las mismas. En segundo lugar, una teoría unificada es aquella que no sólo integra las propiedades de la cognición que parecen consensuadas dentro de la comunidad científica, sino que además ofrece una visión coherente y sistemática de las mismas, englobando todas estas propiedades dentro de unos principios comunes.

Por otro lado, este trabajo también tiene el objetivo de contribuir a la elaboración de un modelo en filosofía de la ciencia, que permita dar cuenta de la complejidad de esta actividad humana. Entendemos que la actividad científica es compleja en el sentido en que implica capacidades de manipulación de artefactos e instrumentos (esto es, habilidades técnicas y sensorimotoras), pericia a la hora de observar ciertos aspectos de la realidad con paciencia y perseverancia, explorar de una forma sistemática ciertos factores o variables del medio, desarrollar modelos conceptuales basados en la experiencia y que guíen a su vez nuevas exploraciones del objeto de estudio, combinar información de diferentes ámbitos para elaborar teorías científicas, etc. En síntesis, el análisis filosófico de la ciencia nos ha permitido llegar a la conclusión de que la ciencia es una actividad extremadamente compleja cuyos productos surgen de la interacción dinámica de todos estos aspectos de la experiencia y la cognición humanas, y consideramos que la elaboración de un modelo que permita abarcar esta complejidad sin reducir unos elementos a otros o simplificar algunos de ellos en categorías comunes es una buena estrategia para dar un paso más en esta disciplina.

En realidad, a pesar de que este doble nivel de análisis permite una lectura que enfatice uno de los dos aspectos, la primera parte de este trabajo presenta los dos niveles entrelazados, dentro de una narrativa conjunta. Esto es posible porque el estudio filosófico de la ciencia y el auge de las ciencias cognitivas y, con ellas, el estudio científico de la cognición humana, han presentado a lo largo de su historia destinos parcialmente compartidos. En ambos casos, se habla en la actualidad de tres generaciones sucesivas que se han disputado la hegemonía dentro de la disciplina.

En el ámbito de la filosofía de la ciencia, tenemos, en primer lugar, lo que se conoce como Concepción Heredada. En segundo lugar, tenemos la Nueva Filosofía de la Ciencia. Finalmente, en los últimos años hay una tercera generación en la disciplina que goza de una creciente aceptación, y que se conoce como Tradición Experimental. Estas generaciones consisten en tres propuestas de análisis de la actividad científica, mediante unos conceptos y métodos específicos que dotan a cada una de ellas de unas características distintas a las otras dos. Además, en los tres casos, los modelos propuestos llevan aparejadas algunas

implicaciones epistémicas en torno a la ciencia, relativas a la capacidad de esta actividad humana de acceder a algún tipo de conocimiento verdadero de la realidad.

Por otro lado, las ciencias cognitivas constan de la primera generación, denominada cognitivismo o teoría del procesamiento de la información, la segunda generación, que se inicia con el giro semántico y culmina con el conexionismo, y la tercera generación, que consiste en una pluralidad de modelos, pero que tienen en común el énfasis que hacen en el carácter corporizado, interactivo y situado de la cognición. Se trata de modelos que intentan explicar la cognición humana desde diferentes perspectivas, y con métodos y niveles de análisis distintos.

Antes de pasar a describir los aspectos más relevantes de estos modelos para nuestros propósitos, debemos destacar una de las ideas básicas que se defienden en la primera parte de este escrito. Los modelos ofrecidos en filosofía de la ciencia por las tres generaciones mencionadas, consisten fundamentalmente en métodos de análisis de la ciencia, que se sustentan en una serie de conceptos y compromisos teóricos específicos. En parte, estos compromisos teóricos tienen mucho que ver con la naturaleza de la mente humana y de los procesos cognitivos que lleva a cabo. En efecto, a la hora de plantearse cuestiones acerca de la observación, la teorización o la experimentación científica surgen irremediablemente cuestiones relacionadas con la percepción, la conceptualización, el razonamiento, la imaginación, la interacción motora con los elementos del mundo, etc.

En la primera parte mostraremos reflexiones de filósofos como Russell o Kuhn, quienes asumen que sus modelos filosóficos guardan preguntas subyacentes acerca de la cognición, que deberían ser contestadas por otras disciplinas que estudiasen la mente desde un punto de vista empírico. Por tanto, la filosofía de la ciencia ha elaborado métodos de análisis lógicos, formales y semánticos útiles para la comprensión de la actividad científica, dejando como tarea pendiente en muchas ocasiones el estudio de las bases cognitivas de estos métodos de análisis.

Las ciencias cognitivas se hallan desde su nacimiento cerca de estos métodos de análisis y de preguntas relacionadas con las bases cognitivas de los mismos. Los orígenes de este enfoque científico y multidisciplinar del estudio de la cognición beben directamente de las fuentes de la filosofía analítica en sus primeros años. Ya que la filosofía analítica es la principal base teórica de la primera generación en filosofía de la ciencia, ha sido una fuente de inspiración común que ha dotado a ambas disciplinas de unas bases y principios comunes, tal y como resaltan Newell y Simon (1974). Por lo tanto, la primera generación en ciencias cognitivas se ha encargado, al menos parcialmente, de proponer explicaciones teóricas de las bases cognitivas de las herramientas de análisis de la Concepción Heredada, modelo filosófico de la ciencia también inspirado en la filosofía analítica, como son la lógica formal y la observación de elementos atómicos de la realidad.

Estas disciplinas no sólo guardan paralelismos en su primera generación, sino que los problemas y críticas que la segunda generación en filosofía de la ciencia planteó a la Concepción Heredada tuvieron una notable influencia en las propuestas de la segunda generación en ciencias cognitivas. Del mismo modo, los problemas que esta nueva corriente

detectó en el cognitivismo tienen paralelismos con los que la Nueva Filosofía de la Ciencia planteó al modelo anterior. Por un lado, tenemos casos como el de Minsky, que asume su compromiso teórico con tesis provenientes de la segunda generación en filosofía de la ciencia, especialmente de Kuhn. Por otro lado, otros autores como Churchland buscan en el modelo conexionista de la cognición una base teórica sólida a los conceptos filosóficos de Kuhn.

Finalmente, la tercera generación en filosofía de la ciencia, que destaca el papel activo de la experimentación científica en la constitución de nuevos fenómenos, frente al teoreticismo de los modelos anteriores, también tiene paralelismos con la tercera generación en ciencias cognitivas, que plantea la necesidad de estudiar las bases corporales e interactivas de la cognición, frente a los modelos anteriores, que partían de representaciones internas de la mente, sin atender a las bases dinámicas e interactivas de las mismas (Varela 1990). A pesar de que estos paralelismos no se han puesto de manifiesto, comienzan a aparecer estudios dedicados al análisis de los mismos (Gooding 1990, 2003; Harré 2003; Rothbart 2003; Ferreirós 2007).

En nuestro caso, nos proponemos la tarea de desarrollar, en primer lugar, las bases de un modelo cognitivo de la cognición humana, para aplicar posteriormente las bases del mismo a la comprensión de la actividad científica.

En este sentido, consideramos que nuestro trabajo sigue la línea de lo que se ha denominado la naturalización en filosofía de la ciencia. Este enfoque al estudio filosófico de la ciencia parte de la idea de que la filosofía de la ciencia puede aprovechar los conocimientos y hallazgos de determinadas ciencias empíricas que se encarguen de estudiar la cognición y conducta humanas y que garanticen una base empírica de los modelos filosóficos de la ciencia. La naturalización en filosofía de la ciencia ha utilizado herramientas de disciplinas como la sociología (Bloor y Barnes 1982), los modelos computacionales (Thagard 2008), la psicología cognitiva (Giere 1990, Nersessian 1995), o el estudio corporizado de la cognición (Gooding 1990), entre otros.

En nuestro caso, utilizaremos un enfoque interdisciplinar, que combine modelos teóricos y técnicas de investigación que provienen de las seis disciplinas que contribuyeron al origen y consolidación del estudio científico de la cognición, a saber, psicología, inteligencia artificial, lingüística, filosofía, antropología, neurociencia (Gardner 2000, Varela 1990).

En este contexto, hay que tener en cuenta que a la hora de buscar entre los modelos existentes en ciencias cognitivas las bases para una teoría unificada e integrada de la cognición, hallamos que estas dos propiedades se excluyen la mayoría de las veces.

Por un lado, la primera generación en ciencias cognitivas basa su propuesta teórica en las nociones de representación y computación, según las cuales los seres humanos representamos mediante estructuras mentales internas ciertos hechos y eventos del mundo, y transformamos esas estructuras internas mediante operaciones formales de cálculo que permiten generar otras estructuras simbólicas que se traducirán en conductas adaptativas (Simon 2006).

Esta teoría tiene un alto grado de integración, porque permite dar cuenta de propiedades de la cognición humana como su capacidad para representar mediante símbolos arbitrarios determinados aspectos de su experiencia, y para desarrollar sistemas representacionales con reglas de combinación sistemáticas e independientes del mundo empírico (Chomsky 1999, Fodor 1975). Sin embargo, deja de lado otras propiedades como los aspectos cognitivos relacionados con el reconocimiento de patrones o la adquisición de habilidades sensorimotoras (Dreyfus 1981, 1992), que hoy día se consideran propiedades esenciales de la cognición humana, a la luz de los resultados empíricos (Gibbs 2006).

Por otro lado, y no menos importante, esta teoría no ofrece una visión unificada de la cognición humana, ya que parte de la base de que los procesos representacionales y computacionales son independientes y autónomos, y cada uno de ellos se inserta en módulos mentales específicos, aislados los unos de los otros (Fodor, Chomsky). Como veremos, esta teoría dualista o modularista de la cognición no se ajusta a los hallazgos más recientes en neurociencia (Thompson 2007, Johnson y Lakoff 1999).

En segundo lugar, el modelo conexionista, correspondiente a la segunda generación en ciencias cognitivas, también ofrece una visión hasta cierto punto integrada de la cognición, ya que incluye aspectos consensuados de la misma, como la generación de redes de significación, y el establecimiento de relaciones de semejanza entre patrones de activación neuronal. Los modelos conexionistas también plantean una hipótesis de trabajo para explicar las propiedades representacionales y computacionales, basada en la importancia de las representaciones externas y la transformación de las mismas mediante el uso de artefactos (Rumelhart et al. 1986). Sin embargo, esta propuesta tampoco integra algunas propiedades de la cognición relacionadas con el contexto o la situación, y los propósitos del agente en la misma, o la base dinámica, corporal e interactiva de muchos procesos cognitivos básicos que constituyen la mayoría de nuestros procesos cognitivos cotidianos (Varela 1990). Esta teoría tampoco es unificada, porque plantea que los procesos cognitivos representacionales y computacionales emergen de la relación entre el cerebro y las conexiones externas, pero sin ofrecer una propuesta coherente con unos principios subyacentes a estos dos aspectos, interno y externo, de la cognición humana, y a la relación entre ellos.

En último lugar, la tercera generación en ciencias cognitivas parte de las bases corporales, interactivas y situacionales de la cognición humana, comenzando de este modo “la casa por sus cimientos”. A diferencia de los modelos anteriores, en este caso se buscan las raíces de la cognición humana que la vinculan al resto de las especies animales y a sus raíces evolutivas. En este sentido, los modelos de esta generación son más adecuados para el desarrollo de una teoría unificada de la cognición, en la medida en que no postulan diferentes propiedades representacionales y computacionales de la mente, sino que parten de una base corporal e interactiva que permita ascender hacia este tipo de procesos cognitivos más específicamente humanos, pero desde unos principios anclados en estas bases. Johnson ha denominado “Principio de Continuidad” (Johnson 2007) a esta exigencia de comenzar el estudio de la cognición desde sus cimientos corporales, interactivos y situacionales. El

problema de la tercera generación es que sus modelos explican con eficacia estas propiedades interactivas de la cognición, pero hallan grandes dificultades para ascender hacia las propiedades neuronales, representacionales y computacionales de la misma (Calvo y Gomila, 2008), de modo que la tercera generación se acerca más a una teoría unificada pero se aleja más que las anteriores al ideal de teoría integrada.

La propuesta de teoría cognitiva que se plantea en nuestro trabajo intentará combinar los aspectos más positivos de los tres modelos descritos. En primer lugar, buscará en los modelos de las dos primeras generaciones aquellas propiedades de la cognición humana que la desmarcan de la cognición animal, como su carácter representacional y computacional, así como las propiedades que posee en tanto que organismo con un sistema nervioso central complejo, como son la capacidad de desarrollar redes de significación, o redes semánticas, que imponen un determinado orden sobre la realidad, y el establecimiento de relaciones de semejanza entre diferentes patrones de activación sobre la base de diferentes criterios de clasificación. En cuanto a la tercera generación, utilizaremos sus análisis de la importancia del cuerpo, los propósitos del organismo en sus planes de acción, y la importancia de la situación, para partir desde una base interactiva de la cognición, que compartimos con el resto de seres vivos.

Con todos estos elementos en juego, marcaremos las bases para una teoría unificada e integrada de la cognición, que denominaremos experiencialismo, por las similitudes que guarda con el experiencialismo humanista de Duarte Pacheco, según el cual la experiencia es la madre de todas las cosas (Pacheco 1892), y el experiencialismo en lingüística cognitiva, encabezado por Johnson y Lakoff (1999, 2007). En nuestro caso, el modelo experiencialista parte de la idea de que la experiencia es algo complejo y que engloba diversos aspectos y niveles jerárquicos. Esto nos permitirá, en primer lugar, ubicar todas las propiedades de la cognición en diferentes aspectos o fases de la experiencia humana, manteniéndonos de este modo fieles a la contribución al desarrollo de una teoría integrada de la cognición.

En segundo lugar, al anclar estas propiedades de la cognición humana en diferentes aspectos de la experiencia, tendremos la oportunidad de relacionar estas propiedades de la cognición entre sí, dentro de un todo coherente, que comienza en los aspectos corporales e interactivos de la experiencia, sobre la base de la interacción con un entorno físico y la herencia de un linaje biológico y una historia ontogenética, pero que también tiene en cuenta aspectos de la experiencia humana relativos a las capacidades de su sistema nervioso para establecer asociaciones significativas entre interacciones en situaciones diversas, así como los procesos emergentes debidos a su participación en prácticas culturales, que dotan a la cognición humana de sistematicidad, redes de significación compartidas, representaciones de determinados aspectos de su experiencia mediante otras prácticas, o la transformación de las propias prácticas culturales mediante la construcción y uso de artefactos.

Finalmente, la dimensión lingüística de la experiencia humana nos permitirá estudiar aspectos de la cognición como la creatividad y la capacidad de estandarizar procesos cognitivos anclados en instrumentos y artefactos del entorno. Con esto habremos cubierto el

primero de los dos objetivos de la tesis mencionados en este prólogo. Para abordar la segunda cuestión, partiremos de una transición que parte del análisis de las implicaciones epistémicas del modelo experiencialista de la cognición humana.

Como ya hemos dicho, el modelo experiencialista plantea la experiencia como algo complejo que consta de diferentes fases o niveles de análisis, que a su vez interactúan entre sí en una dinámica de interacciones complejas. Por tanto, las implicaciones epistémicas de este modelo no son simples. Esto se ve más aún si lo comparamos con las implicaciones epistémicas de los modelos de filosofía de la ciencia de las tres generaciones que hemos mencionado anteriormente.

Por un lado, tenemos la propuesta de la Concepción Heredada. Este modelo de la actividad científica parte de la idea de que las teorías científicas pueden axiomatizarse en sistemas formales. Estos sistemas formales funcionan mediante reglas de deducción lógica, que permiten analizar la validez lógica de las inferencias de la teoría, conectando los teoremas de la misma con un conjunto mínimo de axiomas. Para que una teoría axiomatizada tenga un carácter empírico, los axiomas deben tener una conexión con términos y enunciados observacionales, que tengan una correspondencia directa con elementos de la realidad, independientes de la teoría. Por tanto, el modelo de la Concepción Heredada puede pensarse como una red (Hempel 1952), en la que se asciende desde elementos observacionales hacia términos y enunciados teóricos, se generan unas inferencias determinadas, y se desciende nuevamente al ámbito de la observación mediante la generación de hipótesis, y la verificación de las mismas a través de la observación y la experimentación.

Este modelo presupone, por tanto, que las teorías científicas se anclan en última instancia en la observación de elementos de la realidad, de un modo independiente a los presupuestos de una teoría u otra. Además, todas las teorías pueden reducirse a sistemas axiomáticos, cuyas inferencias, así como la validez de las mismas, pueden analizarse mediante un lenguaje lógico-formal también independiente de la teoría. Según lo dicho, podemos concluir que la Concepción Heredada asume un optimismo epistémico en torno a la ciencia y su capacidad de acceder a un conocimiento verdadero, objetivo y riguroso de la realidad, que progresa en una sucesión de teorías con más elementos verdaderos, y con una mayor consistencia lógica.

Frente a este optimismo epistémico, la Nueva Filosofía de la Ciencia parte de una dura crítica a la posibilidad de la observación y de un lenguaje formal independientes de los compromisos teóricos de cada científico o comunidad científica. Según esta nueva propuesta, los compromisos teóricos de la comunidad científica son los que determinan los criterios mediante los cuales se establecerá la distinción entre lo que es relevante o irrelevante, verdadero o falso, así como los criterios de lo que es un método de análisis válido y lo que no lo es. No existe, pues, observación neutra, fuera de la carga teórica de fondo desde la cual se interpreta lo observado. Por tanto, toda argumentación es, en última instancia, circular, de modo que la ciencia se reduce a una lucha de intereses contrapuestos donde cada parte quiere imponer sus criterios mediante argumentos que dependen de estos criterios (Kuhn 1971).

La Nueva Filosofía de la Ciencia, por tanto, lleva aparejado un pesimismo epistémico, ya que reduce las controversias científicas a luchas de poder en las que cada sujeto, o comunidad de sujetos, defiende sus teorías sobre la base de sus mismos compromisos teóricos, así como de los beneficios que puede obtener al imponer dicha teoría. La ciencia es, en última instancia, subjetiva, o intersubjetiva, y su actividad no permite de ningún modo acceder a un conocimiento objetivo o verdadero de la realidad.

Por último, la tradición experimental parte de la idea de que la intervención sobre la realidad y la construcción y generación de fenómenos y efectos científicos en el laboratorio son las bases constitutivas de la actividad científica, y que el hacer en ciencia es más relevante que el decir o el representar (Hacking 1996). En este sentido, la tradición científica parte de la idea de que la verdad o la objetividad son más una cuestión de acción que de representación. La verdad relacionada con ciertos hechos depende más de la estabilización de los fenómenos mediante la actividad y el uso de instrumentos y artefactos en el laboratorio, dentro de los cuales tienen lugar (Baird 2003), y la objetividad en el conocimiento de la realidad tiene más que ver con la intervención y la actividad en el laboratorio que con la representación de la realidad (Buchwald y Schweber 1995; Hacking 1996).

Las implicaciones epistémicas derivadas del modelo experiencialista de la cognición humana se hallan presentes en cada uno de estos modelos, ya que dichos modelos presentan algunos de los rasgos de cada uno de ellos.

Por un lado, en la medida en que la experiencia tiene algunos aspectos que dependen de las propiedades físicas del mundo, y de nuestra herencia de un linaje biológico común, podemos hablar de una objetividad de la experiencia humana del mundo. Por otro lado, la experiencia de cada agente depende de las habilidades sensorimotoras adquiridas a lo largo de su historia ontogenética, así como de sus propósitos, asociados a sus experiencias pasadas y a sus anticipaciones y expectativas, que están vinculadas a patrones de activación neuronal diferenciales. Estos aspectos de la experiencia se sitúan en un polo más subjetivo desde un punto de vista epistémico, ya que mantienen diferencias entre diferentes agentes en su modo de experienciar el mundo.

En segundo lugar, las prácticas culturales y el lenguaje son aspectos de la experiencia que permiten intervenir sobre la realidad y la propia experiencia para desarrollar, a través de la actividad coordinada y compartida de los agentes, horizontes de experiencia intersubjetivados y, a través de la creatividad de la cognición humana facilitada por el lenguaje, la objetivación de diferentes aspectos o factores de la experiencia.

Las implicaciones epistémicas del modelo experiencialista nos permitirán sentar las bases de su aplicación al análisis filosófico de la actividad científica. En la tercera parte, utilizaremos los conceptos del modelo experiencialista para desarrollar una comprensión dinámica de la actividad científica en su complejidad, centrándonos en ejemplos derivados de la mecánica y el electromagnetismo. El modelo experiencialista nos permitirá analizar los diferentes aspectos de la experiencia y la cognición humanas implicados en la actividad científica, y en sus diferentes fases y procesos.

La idea fundamental es que la actividad científica, como producto cognitivo que surge de la interrelación de los diferentes aspectos de la experiencia humana, debe comprenderse como una dinámica compleja en la que sus diferentes procesos interactúan entre sí de un modo bidireccional. Por tanto, utilizaremos la noción de dinámica de la práctica científica para describir nuestro modelo, ya que enfatiza el carácter complejo e interrelacionado de los diferentes aspectos de la ciencia.

Veremos que nuestro modelo se sitúa desde un punto de vista epistémico en un punto próximo al de la tradición experimental, en el sentido en que, más que plantear la cuestión de si la observación depende de la teoría, o si la teoría se basa en la observación, como hicieran la Concepción Heredada y la Nueva Filosofía de la Ciencia, asumimos que la relación entre teoría y observación o experimentación es compleja, y que en algunos casos hay experimentos exploratorios que guían el desarrollo de teorías científicas, del mismo modo que en ocasiones hay diseños experimentales inspirados por teorías científicas (Hacking 1996, Steinle 2002a, 2002b).

También comparte con la tradición experimental la idea de que la experimentación es una actividad compleja que tiene diferentes niveles, en contraposición a los modelos anteriores, cuyo carácter fundamentalmente teoreticista les llevó a simplificar las tareas de experimentación y a utilizar de un modo indiscriminado observación y experimentación, englobándolas en una misma categoría (Harré 2003). Nosotros asumimos que la observación, así como la experimentación exploratoria y la experimentación guiada por una teoría deben analizarse en sus propios términos, como actividades y procesos con aspectos diferenciales entre ellos. Del mismo modo, nos parece que los modelos teoreticistas anteriores a la tradición experimental tampoco han contribuido suficientemente a analizar diferentes niveles de teorización y conceptualización en la actividad científica, mientras que algunos filósofos pertenecientes a la tradición experimental han diferenciado la generación de modelos conceptuales que se basan en las experiencias y expectativas intuitivas del científico, y el desarrollo de teorías científicas, más sofisticadas y deliberadas, y que implican analogías y relaciones con otros dominios ajenos al objeto de estudio (Heidelberger 2003).

La diferencia entre nuestro modelo de la dinámica de las prácticas científicas basado en una aproximación experiencialista de la cognición humana y la tradición experimental es que, mientras ésta ha permitido señalar la complejidad y los múltiples niveles de análisis de la actividad científica, se ha preocupado más en destacar la autonomía e independencia de estos niveles (Galison 1987, Hacking 1996, Ferreirós y Ordóñez 2002) que sus interrelaciones e interdependencia. En este sentido, Radder (2003a) señala que la tradición experimental se halla aún en vías de desarrollo, y, entre otros argumentos, sitúa como uno de los principales la necesidad de ofrecer explicaciones de la experimentación y de la actividad científica en general que vinculen todos estos niveles de análisis experimentales, observacionales, conceptuales y teóricos en modelos y sistemas coherentes (Radder 2003b), más que limitarse a destacar la independencia y autonomía de los mismos.

El estudio de la dinámica de las prácticas científicas tiene el propósito de colaborar en el establecimiento de modelos más integrados que den cuenta de la interrelación de estos elementos. Además, veremos cómo es precisamente en este nivel de las relaciones, más que en el análisis relativamente aislado de estos elementos, donde hallamos la capacidad de la ciencia de objetivar aspectos de la experiencia humana. Desde nuestro punto de vista, es precisamente esta capacidad la que hace que la ciencia sea un producto de la experiencia y la cognición humanas especial y único. Acabaremos este trabajo analizando las implicaciones epistémicas de esta tesis, mostrando que la ciencia ayuda a aproximar la experiencia al polo objetivo del conocimiento, permitiendo la estandarización de la cognición y la actividad del ser humano en su mundo, y el desarrollo tecnológico.

A continuación pasaremos a detallar los temas que se abordarán en cada una de las partes de este trabajo, y los puntos que incluyen. La primera parte está dedicada a la presentación de las tres generaciones que han tenido lugar en las dos disciplinas de interés para esta tesis, a saber, filosofía de la ciencia y ciencias cognitivas. En primer lugar, presentaremos la filosofía analítica como fuente de inspiración común de la primera generación en filosofía de la ciencia y de las ciencias cognitivas. El análisis lógico de la filosofía analítica, que distingue entre la representación simbólica de elementos del mundo, y la operación formal con dichos símbolos sobre la base de reglas de cálculo independientes de la experiencia, constituyen los fundamentos de la primera generación en filosofía de la ciencia, por un lado, que distingue entre teoría y observación, y en ciencias cognitivas, que distingue entre representación y computación. La ciencia, así como la cognición humana, se basa en esta distinción, y en la independencia y autonomía de estos niveles. Acabaremos este punto destacando las implicaciones epistémicas de esta primera generación, así como las propiedades de la cognición humana que más han destacado.

Continuaremos la primera parte con el análisis de la segunda generación en ciencias cognitivas y filosofía de la ciencia, así como de sus paralelismos. En ambos casos, se elaborarán una serie de críticas a los modelos anteriores, y se defenderán tesis según las cuales las estructuras simbólicas representacionales y las reglas formales de cálculo son propiedades que no son independientes y autónomas, sino que dependen de una red de significación común compartida por un grupo humano. En este sentido, la observación y los criterios de análisis de los argumentos dependen siempre de una teoría o modelo conceptual subyacente. Además, estos modelos conceptuales se basan en patrones de activación neuronales y relaciones de semejanza, más que en estructuras de símbolos atómicos o nodos conceptuales y propiedades definitorias.

Tras un análisis de la filosofía de la ciencia de Kuhn, utilizada como principal representante de la Nueva Filosofía de la Ciencia, y de modelos de la cognición, como los de Minsky o Churchland, que guardan paralelismos notables con las tesis de Kuhn, analizaremos las implicaciones epistémicas de esta segunda generación, así como las propiedades de la cognición humana que nos ayudan a destacar y resaltar. Veremos que, desde un punto de

vista epistémico, la segunda generación se sitúa como contrapuesta a la primera, mientras que desde un punto de vista cognitivo busca propiedades de la cognición humana que se sitúan en un nivel de análisis inferior al de la primera generación, de manera que las propiedades de la cognición resaltadas por ésta emergen desde las propiedades analizadas por aquella.

Acabaremos esta primera parte con la presentación de la tercera generación en ciencias cognitivas y filosofía de la ciencia, para ver una visión alternativa de ambas disciplinas que se sitúe más allá de una perspectiva representacionalista o teoreticista compartida por los modelos anteriores, y destaque aspectos de la cognición y la ciencia más relacionados con la corporalidad, la manipulación de instrumentos y la intervención e interacción de los agentes humanos en su entorno. Esto nos permitirá poner de manifiesto unas implicaciones epistémicas distintas a las anteriores, más basadas en la actividad que en la representación del mundo, y un nuevo nivel de análisis desde un punto de vista cognitivo, que nos permita dar con propiedades de la cognición más básicas que las mencionadas por los modelos anteriores, y de las cuales éstas dependen.

Concluiremos esta primera parte argumentando a favor de la elaboración de un modelo que apunte hacia una teoría unificada e integrada de la cognición, que nos permita recoger los aspectos más positivos de los modelos propuestos por estas tres generaciones, y que a su vez nos permita elaborar un modelo filosófico de la ciencia para dar cuenta de esta actividad humana teniendo en cuenta su complejidad y sus distintos niveles de análisis.

En la segunda parte presentaremos nuestra propuesta para una teoría unificada e integrada de la cognición. Denominaremos a nuestro modelo 'experiencialista' en la medida en que comparte, con la tercera generación en ciencias cognitivas, que la corporalidad y la interacción del organismo en su entorno deben ser las bases sobre las que asentar el resto de procesos cognitivos humanos. Sin embargo, utilizamos esta noción para destacar la complejidad de la experiencia humana y su participación en múltiples aspectos, que tienen relación con la historia filogenética, ontogenética, social y lingüística, en un mundo cuyos objetos tienen ciertas propiedades y regularidades que gozan de una cierta estabilidad.

En primer lugar, analizaremos la percepción humana, en tanto que es desde aquí desde donde nacen y se desarrollan el resto de procesos cognitivos. Veremos que la percepción, de donde parte nuestra experiencia del mundo, contiene elementos 'innatos', dependientes de nuestra historia filogenética, y otras propiedades que dependen de la interacción corporal con el mundo y sus objetos, que dotan a cada agente de una serie de 'affordances'. Por otro lado, la influencia de la habilidad sensorimotora, y de sus propósitos y expectativas, harán que cada agente dirija su atención y, por tanto, perciba el mundo desde una perspectiva determinada. La idea es defender que la experiencia perceptiva es compleja y se compone de diversos elementos diversos que han sido destacados por teorías como la del procesamiento de la información, o la percepción directa de Gibson, pero en muchas ocasiones resaltando sólo unos aspectos de la percepción y dejando otros de lado.

Sólo con una aproximación compleja de la percepción, que cubra los diversos aspectos de la experiencia que la hacen posible, podemos analizar la base perceptiva y experiencial de

los procesos cognitivos, como la conceptualización, la imaginación o la memoria. Estos procesos se inician en el ciclo perceptivo y experiencial de los agentes, y de ahí adquieren sus propiedades fundamentales. Sin embargo, estos procesos cognitivos se ven afectados por otro aspecto de la experiencia humana, como es su participación en prácticas culturales diversas, que dotan a la cognición humana de redes de significación compartidas, así como una estructuración y representación simbólica común de la experiencia, y la transformación del mundo mediante la construcción de artefactos, que incide sobre la experiencia de los agentes. Todos estos aspectos de la experiencia relacionados con las prácticas culturales llevan consigo la intersubjetivación de los procesos cognitivos.

Finalmente, el último apartado, dedicado al lenguaje, se centrará en analizar los diferentes aspectos de este artefacto humano, como son la sintaxis y la semántica, el léxico, la pragmática, y la generación de metáforas y otro tipo de fusiones conceptuales, lo que nos permitirá estudiar el lenguaje como un producto que emerge de la experiencia humana y su interacción en el mundo, más que como un producto de procesos y estructuras mentales internas. Sólo de este modo podremos comprender el modo en que las propiedades del lenguaje son un reflejo de la experiencia y la cognición, y de la relación entre sus diferentes elementos. Veremos que en el lenguaje no sólo se expresan las dimensiones objetiva, subjetiva e intersubjetiva de la cognición, sino que éste también permite llevar la cognición más allá de sus límites, generando nuevos espacios mentales y esquemas exploratorios. Será precisamente esta capacidad creativa de la cognición humana asociada a nuestra capacidad lingüística la que permitirá al ser humano transformar las estructuras del mundo y, por ende, su propia experiencia, estandarizando y objetivando algunos aspectos de la misma.

La ciencia es el producto de la experiencia y la cognición que posibilita a nuestra especie llevar este potencial objetivador de nuestra cognición y nuestro lenguaje desde una base experiencial, hasta la estandarización y la objetivación de dominios interactivos diversos. Dedicaremos la tercera parte a estudiar cómo es esto posible.

En primer lugar, expondremos la ciencia como una actividad compleja que no puede reducirse a modelos teoreticistas que simplifican algunos de los aspectos de la misma, como por ejemplo la actividad experimental. A continuación, examinaremos los aspectos fundamentales de la empresa científica, como son la actividad experimental y los modelos teóricos. A pesar de caracterizar de un modo independiente ambas prácticas constitutivas de la actividad científica, veremos que éstas son indisociables la mayoría de las veces. Además, la idea que defenderemos a continuación es que es precisamente en su interacción e interdependencia donde estas prácticas llevan la actividad científica a su máximo nivel de desarrollo.

En el tercer apartado de esta segunda parte, veremos el modo en que los modelos teóricos en la ciencia se basan, al menos parcialmente, en fusiones conceptuales y proyecciones metafóricas provenientes del dominio de la geometría y la matemática. En esta tercera parte mostraremos que esto es así porque la matemática, en sus elementos fundamentales, constituye una de las bases compartidas universalmente de las prácticas

culturales humanas, que se basa en aspectos fundamentales de nuestra interacción con el entorno, y que a su vez permite generar nuevas estandarizaciones y prácticas comunes que dan lugar al desarrollo de nuevos horizontes compartidos de la experiencia y la cognición.

El apartado cuarto estará dedicado a ver el modo en que la ciencia nace precisamente como esta fusión conceptual entre los resultados de la observación y la experimentación, por un lado, y la exploración de los fenómenos explorados mediante modelos geométricos que permiten dar sentido a las observaciones y los resultados experimentales, y también desarrollar nuevas inferencias que permitirán explorar los fenómenos naturales desde nuevas perspectivas, y mediante nuevos instrumentos. La revolución astronómica, y las investigaciones de Galileo y Newton en el ámbito de la mecánica, nos permitirán ver el modo en que la fusión entre la matematización de los modelos teóricos y la actividad experimental constituyen el motor de la ciencia, que tiene como resultado la objetivación de diferentes dominios de la experiencia, dando lugar a nuevas prácticas compartidas y bases experienciales que constituirán el marco común de exploración para las nuevas generaciones.

Finalmente, el análisis de las relaciones dinámicas entre teoría y experimentación pone de manifiesto las diferentes maneras en que se pueden relacionar estas dos prácticas constitutivas de la ciencia. Veremos que la actividad experimental funciona en las primeras etapas de un modo independiente y autónomo con respecto a los modelos teóricos, al menos en gran medida, e incluso sienta las bases de una carga experimental compartida de los modelos teóricos.

En una segunda etapa, veremos que determinados modelos teóricos, que se asientan en estabilizaciones interactivas y objetivaciones de otros dominios de la experiencia, sirven como puente para la realización de nuevos diseños experimentales que permitirán asentar nuevas bases experimentales comunes. En este punto, los experimentos se replican por parte de la comunidad científica, permitiendo así asentar unas bases y técnicas comunes de investigación, así como unas representaciones geométricas compartidas que permiten comunicar los resultados experimentales entre diversos miembros de la comunidad, y guiar la exploración experimental siguiente.

Sólo en una tercera etapa de desarrollo y madurez encontramos que la interpretación física de los modelos geométricos compartidos se hace relevante a la hora de guiar la exploración del fenómeno, en la medida en que una de las interpretaciones posibles permite interpretar ciertos resultados experimentales y guiar el diseño de nuevos experimentos de un modo fructífero y prometedor.

Finalmente, todo este bagaje experimental, y de representaciones geométricas e interpretaciones físicas, hallarán en Maxwell la síntesis que permitirá, mediante modelos teóricos que combinarán esquemas exploratorios derivados de la experimentación en electricidad y magnetismo, junto con esquemas exploratorios asentados en la comunidad científica gracias a la objetivación de dominios previamente objetivados, el desarrollo de un modelo teórico que dé con nuevas inferencias que inspirarán el diseño de nuevos experimentos que servirán para estabilizar nuevos fenómenos que sentarán las bases de la experiencia y la

cognición de las siguientes generaciones. Todo esto nos permitirá concluir que la experiencia es el alfa y omega de la dinámica de las prácticas científicas, y que los modelos teóricos son un puente esencial para la objetivación de nuevos dominios de la experiencia, en la medida en que guían la actividad experimental y la lleva más allá de los límites establecidos por las prácticas compartidas, hasta la objetivación de nuevos dominios de la experiencia. Dedicaremos las consideraciones finales a analizar las implicaciones epistémicas de este modelo experiencial y dinámico de la ciencia, y a compararlo con los modelos filosóficos anteriores en este aspecto, para finalizar resaltando las consecuencias éticas del mismo.

NOTA SOBRE LAS CITAS Y REFERENCIAS

Las citas y referencias bibliográficas no se realizan atendiendo al año de publicación de una obra desde un punto de vista histórico, sino que hace alusión a la edición concreta que se ha consultado para la realización de este trabajo.

Por otro lado, para las citas se utilizará el idioma de la edición de la obra de la que se extraigan en cada caso.

Parte 1: LAS BASES COGNITIVAS DE LOS MODELOS FILOSÓFICOS DE LA CIENCIA: DOS DISCIPLINAS CON DESTINOS COMPARTIDOS

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta primera parte es el de analizar los modelos principales existentes en filosofía de la ciencia, con tal de ver sus presupuestos, las implicaciones que se derivan de estos modelos para la imagen de la ciencia, y los problemas que presentan a la hora de ofrecer una explicación integrada de la actividad científica. Nuestro estudio se centrará en la idea de que las herramientas de análisis y las bases conceptuales de cada generación en filosofía de la ciencia implican una serie de presupuestos acerca de la cognición humana y del funcionamiento de la mente. Por otro lado, estos supuestos pueden ponerse de manifiesto mediante los paralelismos que cada una de las tres generaciones en filosofía de la ciencia guardan con la generación correspondiente en el campo de las ciencias cognitivas.

La relación entre modelos cognitivos y modelos en filosofía de la ciencia pasa por la denominada naturalización de la epistemología y la filosofía de la ciencia. Sin embargo, esta parte de nuestro trabajo mostrará que los modelos filosóficos de la ciencia implican, ya sea de forma implícita o explícita, compromisos teóricos en torno a la cognición humana. Los problemas de los modelos que han predominado hasta la actualidad en filosofía de la ciencia están, en parte, basados en la inadecuación de los presupuestos implícitos que suponen desde el punto de vista cognitivo. Por tanto, en la medida en que descartemos un modelo de filosofía de la ciencia como candidato a ofrecer una visión integrada de la actividad científica en toda su complejidad, esto nos lleva a su vez a descartar también a los modelos cognitivos implícitos, y a la necesidad de contribuir a desarrollar un modelo cognitivo unificado que pueda servir de base a un nuevo modelo naturalizado en filosofía de la ciencia.

El análisis realizado en este apartado nos permitirá, por un lado, iniciar el desarrollo de una teoría unificada e integrada de la cognición que reúna en un todo coherente y sistemático las propiedades de la cognición humana destacadas por las generaciones anteriores. Por el otro, también sentará las bases para un posterior desarrollo de un modelo de la dinámica de las prácticas científicas, que asuma la complejidad de la actividad científica, e integre a su vez los aspectos epistémicos y conceptuales de las generaciones anteriores en filosofía de la ciencia.

2. PRIMERA GENERACIÓN: SISTEMAS FORMALES Y CORRESPONDENCIA CON LA REALIDAD

2.1. LA FILOSOFÍA ANALÍTICA COMO FUENTE DE INSPIRACIÓN COMÚN

Para comprender en qué sentido la filosofía analítica[1] ha sido una fuente de inspiración tanto para la filosofía de la ciencia como para las ciencias cognitivas, es necesario analizar algunos de sus presupuestos fundamentales. Comenzaremos por el antimentalismo que se

[1] En este trabajo se entiende por filosofía analítica la tradición filosófica encabezada por Frege, Russell y Wittgenstein que tiene como objetivo hallar unas bases objetivas, no mentales o psicológicas, del pensamiento. Para ello, buscan en el lenguaje y sus reglas lógicas subyacentes y su correspondencia con hechos del mundo, unas bases firmes y universales de los enunciados, y de su verdad o falsedad.

sitúa en la base de la corriente analítica en filosofía. El antimentalismo queda caracterizado por la siguiente cita de Frege:

"Parece que algunos piensan que los conceptos nacen del alma individual como las hojas en los árboles, y creen que pueden averiguar su esencia investigando su surgimiento y tratando de explicarlo psicológicamente a partir de la naturaleza del alma humana. Pero esta concepción lo aboca todo a lo subjetivo y, si se prosigue hasta el fin, suprime la verdad. Lo que se llama historia de los conceptos es o bien una historia de nuestro conocimiento de los conceptos, o bien de los significados de las palabras" (Frege 1973, pp. 17-18).

De este modo, Frege se opone a las corrientes idealistas y neokantianas anteriores, que asumían la posibilidad de generar conocimiento universal y necesario (*a priori*), y nuevo (sintético) a partir de la subjetividad trascendental. Como apunta al final de esta cita, Frege propone dejar de mirar a la mente y la generación psicológica de los conceptos para situarse en un marco lingüístico y atender al significado de las palabras, algo que va más allá de la mente individual y que puede analizarse atendiendo a los propios signos y estructura del lenguaje.

A partir de esta línea de trabajo encabezada por Frege, y seguida por autores como Russell, Wittgenstein o Carnap, se inicia un programa en filosofía consistente en reducir el lenguaje matemático, y también el lenguaje natural, a unas ciertas reglas de cálculo formales que permitirán establecer el valor de verdad de cualquier inferencia atendiendo a la adecuación de las estructuras simbólicas implicadas, y dejando de lado cualquier referencia a la mente individual o a cualquier elemento ajeno a las propias reglas formales de cálculo lógico (Thagard 2005, p. 24; Kraft 1966, pp. 30-36).

Desde el campo de las ciencias cognitivas, Newell y Simon ofrecen un excelente resumen del plan de la filosofía analítica:

"The roots of the hypothesis go back to the program of Frege and of Wittgenstein and Russell for formalizing logic: capturing the basic conceptual notions of mathematics in logic and putting the notions of proof and deduction on a secure footing. This effort culminated in mathematical logic –our familiar propositional, first-order, and higher-order logics. It developed a characteristic view, often referred to as the "symbolic game". Logic, and by incorporation all of mathematic, was a gameplayed with meaningless tokens according to certain purely syntactic rules. All meaning had been purged. One had a mechanical, though permissive (we would say nondeterministic), system about which various things could be proved. Thus progress was first made by walking away from all that seemed relevant to meaning and human symbols. We could call this stage of formal symbol manipulation" (Newell y Simon 1974, p. 88).

Precisamente encontramos en el breve análisis histórico de la inteligencia artificial desarrollado por Newell y Simon que la filosofía analítica ha constituido una de las fuentes fundamentales de inspiración para el desarrollo de esta disciplina (Newell y Simon 1974).

Actualmente, el uso de la lógica formal, cuyo desarrollo nace de la empresa iniciada por los filósofos y matemáticos mencionados en la cita anterior, está enormemente extendido, y nadie pondría en duda el hecho de que es una herramienta formal de análisis crítico del

pensamiento, el lenguaje y los razonamientos, que permite dirimir muchas cuestiones formales, detectar falacias sutiles de razonamiento, dar un mayor rigor y validez a los razonamientos utilizados en cualquier disciplina científica y no científica, y, en definitiva, aumentar la capacidad del ser humano de poner en común sus pensamientos e ideas.

El propósito de generar un horizonte estable, eterno, de las reglas lógicas y formales subyacentes al lenguaje humano en todas sus vertientes iba asociado desde los orígenes de la tradición analítica a esta voluntad de generar un horizonte objetivo de análisis del pensamiento reflejado en el lenguaje, de tal modo que se pudieran resolver muchos debates conceptuales mediante el análisis lógico-formal de la argumentación. A pesar de asumir la dificultad enorme de reducir toda controversia teórica a la corrección lógica o formal del lenguaje, la corriente de la filosofía analítica concebía como posible y deseable esta empresa (Carnap 1931, pp. 219ss).

La propuesta de la filosofía analítica iba, no obstante, más allá de defender la utilidad intersubjetiva del análisis lógico-formal del lenguaje. La lógica no sólo era considerada por la filosofía analítica una herramienta ideal de comunicación a la hora de justificar la validez de las inferencias utilizadas en cualquier razonamiento. La lógica formal se convertía en el medio de expresión del pensamiento o, para ser más exactos, en la forma misma del pensamiento:

"El conocimiento se expresa en formulaciones lingüísticas. Sólo mediante ellas se fija y objetiva su contenido intelectual, adquiere una forma fija y duradera y se hace comunicable. Pero el lenguaje no tiene simplemente la función de la comunicación, no se limita a servir a la comprensión intersubjetiva, sino que es ya indispensable de un modo puramente solipsista como medio de representación. Sin el lenguaje no podría desarrollarse y dominarse la pluralidad de los conceptos y de los contenidos enunciativos. El lenguaje constituye por así decirlo el cuerpo del conocimiento" (Carnap 1931, pp. 219ss).

El lenguaje lógico no es sólo una herramienta de comunicación sino también de representación. Dicho de otro modo, la lógica formal es una condición necesaria para el pensamiento humano y su representación y conocimiento del mundo. El lenguaje es la forma del pensamiento, y a su vez representa hechos del mundo. Es decir, existe un isomorfismo entre pensamiento, lenguaje y mundo (Wittgenstein 1981). La primacía del lenguaje sobre el pensamiento, y la base lógica de las estructuras de pensamiento, lenguaje y mundo son los fundamentos de lo que ha dado en llamarse "giro lingüístico" en filosofía, desde el punto de vista de la filosofía analítica[2].

La representación del mundo mediante el lenguaje se podía considerar, desde el punto de vista de la lógica formal desarrollada por la filosofía analítica, desde un doble nivel de análisis. Por un lado, se podía estudiar el significado de cada símbolo lingüístico, esto es, qué representa cada elemento del lenguaje. Por otro lado, se puede analizar la estructura lógica del lenguaje representacional, considerada isomórfica a la estructura de los estados del mundo que representa, esto es, el cómo de la representación:

"El lenguaje como sistema de signos puede considerarse bajo dos puntos de vista: por una parte, teniendo en cuenta que el lenguaje representa algo y lo que representa; por otra parte,

[2] Para ver otros enfoques del giro lingüístico fuera de la filosofía analítica, véase Rorty (1990).

desde el punto de vista del cómo, de qué modo representa algo. En el primer caso se trata del contenido significativo de los signos, de su función semántica: en el segundo, del modo de combinarse, de sus reglas sintácticas. El primero se ocupa también del vocabulario de un lenguaje; el segundo sólo de su gramática. Ambos son imprescindibles para él. Pero a veces puede considerarse también un lenguaje sin tener en cuenta su función significativa, de un modo puramente exterior, atendiendo a la forma de sus signos y sus combinaciones de signos. Frente a la consideración material aparece entonces la formal. Mediante ella se ponen de relieve sus propiedades estructurales formales, sobre las que se basa su función de representación" (Kraft 1966, p. 40).

Este doble nivel de análisis implica la posibilidad de independizar una tarea de la otra, y llevarlas a cabo desde áreas del saber distintas. Según la filosofía analítica, la filosofía debía limitarse al análisis formal y simbólico de los enunciados con sentido (o con contenido teórico), esto es, cuyas proposiciones se corresponden con hechos. Para Carnap, los enunciados carentes de sentido eran aquellos propios del arte o la metafísica, ya que tenían una función expresiva y no representacional (esto es, no se corresponden con hechos) (Carnap 1935, pp. 294-305).

La filosofía debía analizar el cómo de la representación de los enunciados con sentido o con contenido teórico, independientemente de su validez empírica: "La única tarea propia de la filosofía es el análisis lógico" (Carnap 1935, p. 305). Si una teoría o conjunto de enunciados no se adecuaban a las reglas del cálculo formal, esto quería decir que no podían corresponderse con ningún hecho acerca del mundo, ya que la lógica era la estructura común al pensamiento, el lenguaje y el mundo. Un enunciado que no tuviese una estructura lógicamente válida no podía corresponderse con ningún hecho del mundo (Wittgenstein 1981).

Una vez que los enunciados teóricos hubieran pasado el test del análisis formal llevado a cabo por la filosofía, era necesario pasar a analizar el qué de la representación, esto es, su adecuación empírica a la realidad. Este segundo nivel de análisis debía efectuarse mediante la observación y la experimentación científica (Carnap 1935, p. 305).

De todo esto, podemos concluir que la filosofía analítica concebía el doble nivel de la representación, esto es, el "qué" y el "cómo" de la misma, de una forma independiente, siendo el primero una cuestión empírica y el segundo una cuestión formal. En este sentido, la radical distinción entre observación y teoría presupuesta por el empirismo lógico bebe directamente de las fuentes de la filosofía analítica. Algo parecido sucede con la distinción entre "representación" o "designación", y "computación" o "interpretación", por el otro, en el seno de la inteligencia artificial.

2.2. *CONCEPCIÓN HEREDADA EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA*

La noción de Concepción Heredada proviene de Suppes, que fue quien la consagró, después de que Hilary Putnam la utilizara por primera vez. Esta expresión alude a la primera generación en filosofía de la ciencia, que a pesar de estar compuesta por filósofos y científicos con perspectivas diferentes sobre algunas cuestiones filosóficas de la ciencia, compartían unas

mínimas bases comunes, relacionadas con el fundamento empírico y observacional de las teorías científicas, y la importancia del análisis lógico-formal como juez para justificar la validez de una teoría científica. Estas bases de la Concepción Heredada encontrarían en la segunda generación, denominada Nueva Filosofía de la Ciencia, su alter ego, como veremos en el siguiente apartado.

El proyecto iniciado por la corriente analítica en filosofía, que en sus primeras etapas se caracterizaba por esta búsqueda de un lenguaje formal constituido por un conjunto de reglas sintácticas que garantizasen el valor de verdad de un conjunto de inferencias a partir de unas premisas, por un lado, y por una correspondencia entre estos enunciados del sistema formal y determinados hechos del mundo, por el otro, tuvo una gran influencia en el ámbito de la filosofía de la ciencia. Tanto es así que en su primera etapa, la filosofía de la ciencia asumió el objetivo de formalizar las teorías científicas y establecer enunciados que conectaran dichas teorías con determinados hechos del mundo. Esta corriente en filosofía de la ciencia es la que se conoce como Concepción Heredada, precisamente porque toma como herencia los supuestos y la línea de trabajo iniciada por Frege, Russell o Wittgenstein. A continuación veremos con más detalle las características de la Concepción Heredada en filosofía de la ciencia, para analizar posteriormente los paralelismos entre ésta y los primeros modelos de la cognición que tuvieron lugar en los inicios de la ciencia cognitiva.

Según la filosofía analítica, los enunciados teóricos son aquellos que enuncian algún estado de cosas del mundo, a diferencia de los enunciados expresivos, artísticos o metafísicos, que son subjetivos o que no se corresponden con ningún conjunto de hechos del mundo. Siguiendo esta definición, una teoría se considera como un conjunto de afirmaciones sobre un determinado ámbito de la realidad. Esta definición se aplica a teorías consideradas por la filosofía analítica como puramente formales, como puedan ser las teorías matemáticas o las de la lógica, o también a teorías de carácter empírico, que remiten a algún fragmento de la realidad físico-natural.

En primer lugar, veremos lo que estos dos tipos de teorías tienen en común, según la perspectiva de la filosofía analítica, para ver más tarde sus elementos diferenciales. La gran tarea que la corriente analítica en filosofía percibía como propia era la de realizar el análisis lógico-formal de las diferentes teorías formales y empíricas, con tal de averiguar su consistencia lógica. Como vimos, la consistencia lógica del lenguaje era una condición necesaria para que los enunciados del mismo pudieran corresponderse con algún conjunto de hechos. En ausencia de consistencia lógica, los enunciados del lenguaje eran completamente carentes de sentido y, por tanto, ni siquiera podían considerarse como verdaderos o falsos.

El análisis lógico del lenguaje implica el estudio de las deducciones e inferencias implícitas en los diferentes enunciados. Para poder estudiar las teorías en este nivel de análisis, era necesario partir de las mismas en su “estadio intuitivo” y transformarlas hasta que adquiriesen una forma susceptible de análisis lógico. El sistema axiomático se convirtió en el modelo de referencia, de modo que las teorías científicas debían traducirse a sistemas

axiomáticos para poder evaluar su consistencia lógica y la validez de sus inferencias y deducciones.

Los sistemas axiomáticos pueden dividirse a grandes rasgos en un conjunto de axiomas y un conjunto de teoremas. Los axiomas son las afirmaciones consideradas primitivas de la teoría en cuestión, a partir de las cuales deben poder derivarse lógicamente el resto de afirmaciones de la misma, consideradas teoremas. En este sentido, se entiende que el conjunto de axiomas contienen implícitamente la teoría en su totalidad. Los axiomas deben ser independientes entre sí (no debe poder deducirse un axioma de otros axiomas, puesto que dejaría de ser un elemento primitivo). Una teoría se considera mejor en la medida en que minimiza el número de axiomas necesarios para derivar todos los teoremas.

A parte de los axiomas y teoremas, las teorías cuentan con un conjunto de términos, que son abreviaturas de los axiomas y los teoremas. Los términos no son partes imprescindibles de la teoría, pero sí que son abreviaturas que toda teoría de un cierto nivel de complejidad utiliza, ya que de otro modo el análisis de la teoría sería impracticable. Los términos se dividen en primitivos y derivados. Los primeros son todos aquellos que encajan con el conjunto de axiomas de la teoría. Es decir, todos los términos para los cuales los axiomas de la teoría son verdaderos se consideran términos primitivos de la teoría. Por otro lado, los términos derivados son productos de los primeros y dependen de los mismos.

La tarea de axiomatización es considerada por la Concepción Heredada como una tarea crucial por parte de la filosofía de la ciencia, ya que permite “poner orden” en el cuerpo de afirmaciones de una teoría en un estadio intuitivo. Este poner orden implica en muchas ocasiones poner de manifiesto inconsistencias entre afirmaciones incompatibles y tener que tomar partido por algunas de ellas en detrimento de otras.

En el apartado anterior resaltábamos la distinción crucial de la filosofía analítica entre el “cómo” de la representación y el “qué” de la representación. La axiomatización, al permitir analizar las teorías desde el cálculo lógico, suponía una herramienta de gran utilidad para abordar la cuestión del “cómo” de la representación (esto es, si la teoría tenía consistencia lógica y, por tanto, podía corresponderse con algún conjunto de estados de cosas). Sin embargo, para la cuestión del “qué” de la representación, o el significado de los símbolos y términos utilizados, la teoría axiomática no resolvía demasiado. Si bien los términos derivados y los teoremas hallaban la raíz de su significado en los axiomas y términos primitivos, éstos no tenían otra base ulterior y, por tanto, la cuestión de su significado permanecía totalmente abierta.

Comenzaremos por abordar esta cuestión en el caso de las teorías formales. Para la filosofía analítica, una teoría formal, como pueda ser el caso de las teorías matemáticas, habla de todas las entidades que satisfagan los axiomas que la componen. Sobre la base de este presupuesto, tenemos como ejemplo el caso de Frege, que redujo la aritmética de Peano a la teoría de conjuntos. Frege demostró que los axiomas que en la aritmética de Peano usan los términos “cero”, “siguiente de” y “número natural” son verdaderos para entidades de la teoría de conjuntos. Ya que los axiomas son la auténtica base de las teorías, si éstos eran verdaderos

tanto para los números naturales como para los conjuntos, no existía ninguna razón como para privilegiar una teoría sobre otra, o para reducir la axiomatización de Peano a los números naturales y no extenderla a otro conjunto de términos, en este caso pertenecientes a la teoría de conjuntos. Esta visión de las teorías formales y matemáticas guarda una serie de dificultades que han sido y siguen siendo materia de debate en filosofía de la matemática, aunque quedan fuera de nuestros propósitos y, por tanto, no se tratarán aquí.

La cuestión que aquí nos concierne es cómo la Concepción Heredada abordó la cuestión del significado de las teorías (el "qué" de la representación) en el caso de las teorías empíricas. Para esta corriente de pensamiento, las teorías relativas al mundo físico-natural también debían poder expresarse como sistemas axiomáticos. Sin embargo, estas teorías no sólo deben ajustarse al cálculo lógico, sino que deben tener una correspondencia con hechos del mundo físico. Las teorías empíricas debían responder en este sentido a dos tipos de restricciones. Por un lado, las propias del cálculo formal (las teorías debían ser reducibles a sistemas axiomáticos) y las del mundo físico-natural (las teorías debían corresponderse con un conjunto de hechos del mundo físico, esto es, debían ser verdaderas en relación a dichos hechos).

Las teorías empíricas debían tener algún modo de relación con entidades y hechos del mundo físico. Dicho de otro modo, los axiomas y términos primitivos de la teoría debían conectar de algún modo u otro con propiedades o relaciones del mundo físico, directamente accesibles por medio de la experiencia. Diferentes autores plantearon diferentes terminologías para mencionar las conexiones entre las propiedades directamente observables de la naturaleza y los axiomas de la teoría (reglas de correspondencia (Carnap, Ángel, Magenau), definiciones coordinativas (Reichenbach), enunciados interpretados (Hempel), postulados de significación (Carnap, Hempel), diccionario (Campbell, Ramsey), o definiciones operacionales (Bridgman)). En todo caso, su función es la de "proporcionar interpretación empírica al cálculo axiomático que por sí mismo está vacío de contenido empírico".

En resumen, las teorías empíricas quedan definidas por el conjunto de axiomas que las componen (a partir de los cuales pueden derivarse todos los teoremas y definir los términos derivados), y de las reglas de correspondencia, que dotan de significado empírico a estos axiomas a través de la conexión con entidades observables. Las reglas de correspondencia permiten ascender desde los términos observables a los términos teóricos, para vincular posteriormente éstos con otros términos observables, generando así predicciones que permitirán verificar la teoría a través de la experimentación. Esta es la descripción que ofrece Hempel de las teorías empíricas como cálculos axiomáticos empíricamente interpretados, mediante la metáfora de la red:

"Una teoría científica puede entonces ser comparada con una red espacial compleja: sus términos están representados por los nudos, mientras que los hilos que unen éstos corresponden en parte a las definiciones y en parte a las hipótesis fundamentales y derivadas incluidas en la teoría. Todo el sistema flota, por así decir, sobre el plano de la observación y está anclado en él mediante reglas de interpretación. A éstas se las puede considerar como

cuerdas que no forman parte de la red pero que conectan ciertas partes de ella con los lugares específicos de la observación. En virtud de estas conexiones interpretativas, la red puede funcionar como teoría científica: a partir de ciertos datos observacionales podemos ascender a través de una cuerda interpretativa hasta algún punto de la red teórica, de aquí pasar a través de definiciones e hipótesis a otros puntos, desde los cuales otras cuerdas interpretativas permiten descender al plano de la observación" (Hempel 1952, p. 7).

2.2.1. IMPLICACIONES EPISTÉMICAS DE LA CONCEPCIÓN HEREDADA

Con el análisis realizado hasta el momento, podemos sintetizar algunas de las implicaciones que el modelo del empirismo lógico tiene para la imagen de la ciencia desde el marco de la filosofía de la ciencia.

Según las tesis de la Concepción Heredada, las teorías científicas, una vez axiomatizadas, deben conectar, mediante unas reglas de correspondencia determinadas, con entidades directamente observables que permiten interpretar empíricamente los términos y enunciados teóricos, pero que a su vez son independientes de la red teórica. Esto supone que las teorías científicas tienen en última instancia una base empírica independiente desde la cual conectan con la realidad, y a partir de la cual se generan explicaciones y predicciones acerca de la misma, que pueden ser verificadas en una segunda etapa. Esto implica que todas las teorías tienen una base observacional neutra y común, que permite comparar diferentes predicciones teóricas, y decidir, mediante observación y experimentación, el valor de verdad de cada hipótesis, sobre la base de unos criterios de contrastación empírica ateóricos.

Por otro lado, la base observacional neutra, independiente de cualquier teoría abre la posibilidad de contrastar predicciones de diferentes teorías, de manera que cuando éstas entrasen en conflicto en cuanto a sus afirmaciones sobre la realidad, la observación y la experimentación permitiesen averiguar cuál de estas teorías era verdadera y cuál de ellas era falsa. La posibilidad de comparar entre diferentes teorías científicas es compatible con la idea común del progreso científico, ya que la contrastación empírica y la reducción lógica garantizan un ascenso hacia teorías cada vez más integradoras y con más predicciones verificadas.

En síntesis, la Concepción Heredada sostiene una imagen de la ciencia que implica un optimismo epistémico, anclado en los siguientes supuestos: las teorías científicas son lógicamente consistentes, y guardan relaciones de interdependencia y reducción lógica. Las teorías científicas tienen una base observacional independiente, y sus predicciones pueden verificarse mediante observación y experimentación, asegurando así la correspondencia de sus enunciados con hechos o estados de cosas. En resumen, el progreso científico acumulativo es una implicación directa del modelo de la ciencia del empirismo lógico.

2.2.2. CUESTIONES COGNITIVAS SUBYACENTES AL PROYECTO DE LA CONCEPCIÓN HEREDADA

Hasta ahora hemos abordado el desarrollo que la Concepción Heredada supuso para el análisis formal del lenguaje teórico en filosofía de la ciencia, así como de algunas de las

distinciones conceptuales fundamentales, como es el caso de la distinción entre términos y enunciados teóricos y observacionales. En ambos casos, se trata de herramientas de análisis cuya utilidad es hoy día incuestionable, ya que permiten clarificar muchas de las ambigüedades conceptuales y los problemas de rigor deductivo que se dan en la teorización científica, y suponen de este modo una herramienta normativa de primer orden en el análisis filosófico de la ciencia.

La axiomatización de las teorías científicas y la distinción entre términos teóricos y observacionales se asientan en las premisas de Wittgenstein de que existe un isomorfismo estructural entre pensamiento, lenguaje y mundo (Wittgenstein 1981), y unos átomos lógicos que permiten conectar estos tres niveles de análisis, de modo que se da una relación representacional de unos sobre otros. Sin embargo, estos compromisos sobre el pensamiento, el lenguaje y los hechos sobre el mundo sólo eran unas premisas sobre las que elaborar este aparato de análisis formal como es la lógica simbólica desarrollada por la filosofía analítica. El problema es que había una cierta necesidad de dar más argumentos acerca de la plausibilidad de estos supuestos sobre la cognición humana, esto es, sobre el carácter formal o puramente sintáctico de su pensamiento y lenguaje y sobre la correspondencia entre las estructuras del lenguaje y del mundo.

En este sentido, la Concepción Heredada presupone que el pensamiento está estructurado mediante la sintaxis propia de la lógica, ya que el lenguaje es la forma del pensamiento, y éste debe poder reducirse a teorías axiomáticas compatibles con el cálculo lógico-formal. Por otro lado, existe un conjunto de términos observacionales que conectan directamente con entidades directamente observables del mundo. Esto es, el significado de algunos símbolos del lenguaje es directo, y se corresponde con unidades atómicas de la realidad que representa. La computación del cálculo lógico y la representación simbólica constituyen los dos pilares de las bases cognitivas del empirismo lógico. La filosofía analítica y la Concepción Heredada en filosofía de la ciencia comparten estos presupuestos cognitivos, pero no se detienen en elaborarlos y en estudiar su adecuación empírica. El mismo Russell advierte de la necesidad de completar el análisis filosófico con un estudio empírico acerca de las bases cognitivas de la representación simbólica, con tal de resolver el misterio de la conexión o correspondencia entre lenguaje (sintaxis, estructura lógica) y realidad independiente (hechos):

“Quizás fuera conveniente aclarar en pocas palabras qué entiendo por simbolismo, pues sospecho que no falta quien piense que, al hablar de simbolismo, nos referimos tan sólo a los símbolos matemáticos. Empleo dicha expresión en un sentido que abarca a toda variedad lingüística cualquiera que sea su género, de modo que toda palabra, toda oración, etc., será un símbolo. Cuando hablo de un símbolo, me refiero simplemente a algo que “significa” algo otro… Creo que para explicar lo que se entiende por un símbolo es esencial tomar en consideración otras cosas como el conocimiento, las relaciones cognoscitivas y probablemente también la asociación. En cualquier caso, estoy convencido de que la teoría del simbolismo y el uso de símbolos no es algo que la lógica pueda explicar enteramente por sí sola, sin tener en

cuenta las diversas relaciones cognoscitivas que nos es dado mantener con las cosas" (Russell 1919, p. 148).

Estas palabras de Russell ponen de manifiesto que la filosofía analítica, así como la Concepción Heredada, consideraban que las nociones de símbolo y significado eran fundamentales para sentar unas bases firmes de sus herramientas de análisis filosófico, y sostenían que estos conceptos deberían ser estudiados en mayor profundidad por disciplinas científicas que abordasen la cuestión desde una perspectiva empírica. Sin embargo, no eran estas disciplinas las encargadas de analizar, cuestionar o investigar sobre las bases empíricas de estos presupuestos, ya que su objetivo era el de desarrollar y utilizar los sistemas lógicos generados a partir de estos presupuestos.

Lo que haremos a continuación es explorar, en el seno de las ciencias cognitivas, el primer modelo de la cognición humana que adquirió la hegemonía en esta área del saber. Este modelo cognitivo mantiene grandes paralelismos con los compromisos teóricos que los autores de la Concepción Heredada tienen en torno a la mente, y la relación entre pensamiento, lenguaje y mundo. Esto es así debido a que las primeras generaciones en ciencias cognitivas compartían con la Concepción Heredada la fuente de inspiración de la filosofía analítica, el objetivo de formalizar el pensamiento y asentarlo en reglas sintácticas estables y universales, más allá del plano subjetivo, y de encontrar las estructuras simbólicas que permitían a la mente humana representar hechos del mundo, con tal de que sus procesos mentales se adapten al mismo.

La primera dificultad para la psicología científica sería la de hallar unas bases conceptuales y unas técnicas de análisis que se adecuasen al rigor metodológico de la Concepción Heredada, pero que a su vez pudieran abordar científicamente el estudio de procesos mentales internos que envolviesen procesos simbólicos que otorgasen significados a diferentes elementos o hechos del mundo. El conductismo, paradigma vigente en psicología científica en pleno auge de la Concepción Heredada en filosofía, sólo satisfacía las exigencias del rigor metodológico, pero sus teorías y métodos de investigación no permitían acceder a un estudio de la simbolización humana y los significados en los procesos mentales humanos. Haría falta el desarrollo de la computadora, y con ella, de la psicología cognitiva, para superar esta dificultad, y abordar estas cuestiones teóricas desde un punto de vista empírico.

2.3. *COGNITIVISMO, SISTEMAS FÍSICOS DE SÍMBOLOS Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN*

Los inicios de la psicología científica, preludio a la emergencia de la psicología cognitiva y las ciencias cognitivas, se hallan en el momento en que el conductismo se convierte en el paradigma de esta disciplina. El conductismo comparte un propósito fundamental con la filosofía analítica y la Concepción Heredada, a saber, su antimentalismo.

Anteriormente, se habían utilizado en psicología presupuestos teóricos y diseños experimentales orientados a descubrir la estructura o las funciones de los procesos mentales (según si se tratase de una perspectiva más estructuralista o, por el contrario, más

funcionalista) (Leahey 2005, pp. 307-340). En cualquier caso, la finalidad de estos estudios era la de someter a ciertos sujetos experimentales (preferentemente los propios investigadores o sujetos "entrenados") a realizar determinadas tareas y atender a la verbalización de este sujeto en torno a los procesos mentales llevados a cabo, tal y como eran percibidos o sentidos por éste. Este tipo de metodología tenía como fuente de información fundamental la introspección del sujeto a sus propios estados internos, lo que supuso una gran cantidad de problemas a la hora de dar con un conocimiento fiable y generalizable (Estany 1999).

El auge de la filosofía analítica y su expresión en filosofía de la ciencia de la mano de la Concepción Heredada, basada en la idea de buscar elementos observacionales y lógicos en los que anclar toda teorización científica, ponía serias dudas sobre la legitimidad científica de esta metodología experimental. La psicología experimental nacía de la mano de Wundt a finales del siglo XIX. El problema es que gran parte de su trabajo se basaba en la introspección como método para acceder al conocimiento de los procesos mentales, lo que impedía compaginar el estudio experimental de la psicología con el pensamiento riguroso de la lógica y la matemática, ya que la introspección partía de lo subjetivo como nivel de análisis, y esto era precisamente lo que Frege quería evitar desde el comienzo (Estany 2001, p. 40).

Es algo evidente que ninguna disciplina científica está aislada de otras disciplinas y del marco filosófico y cultural general de la época. El caso de la psicología científica no fue una excepción. Las exigencias antipsicologistas de la filosofía analítica, junto con la dificultad de obtener resultados científicos replicables mediante el método introspectivo, impulsaron la búsqueda de nuevos paradigmas y horizontes desde los que abordar la cientifización de la psicología.

Desde sus inicios como propuesta global en esta ciencia, el conductismo asumió como una de sus exigencias ser compatible con las exigencias metodológicas y antipsicologistas de la filosofía analítica y el empirismo lógico (Estany 1999). El objetivo de la psicología conductista era precisamente la de reducir todos los procesos mentales humanos, incluido el lenguaje, a asociaciones entre determinados estímulos (observables y manipulables experimentalmente), y las conductas emitidas por los seres humanos, o los animales. Esta es la propuesta de autores precursores del conductismo, como Watson (1930). En otra versión posterior, encabezada por Skinner, se trataba de estudiar las relaciones entre conductas operantes y los reforzadores que seguían a dichas conductas (Leahey 2005, pp. 341-384).

En cualquier caso, la idea era la de reducir los fenómenos internos relacionados con la mente humana a asociaciones entre estímulos, respuestas, o conductas operantes y reforzadores, basadas en procesos de aprendizaje natural o manipulado experimentalmente. Todos estos factores estudiados por el conductismo eran observables, podían manipularse experimentalmente, y dejaban atrás las complejidades asociadas a la metodología introspectiva.

La finalidad del conductismo parecía estar en perfecta consonancia con los ideales antipsicologistas de la filosofía analítica y de la Concepción Heredada (ya que también tenía la pretensión de reducir los estados mentales a relaciones entre estímulos y conductas,

físicamente observables, y a procesos fisiológicos mensurables (Estany 1999, pp. 108-109, Leahey 2005, pp. 343-344)).

Sin embargo, la voluntad de prescindir completamente de procesos internos como elemento explicativo fundamental en psicología resultó ser inviable. Citaremos brevemente tres ejemplos que confirman la necesidad de introducir este elemento explicativo en psicología.

En primer lugar, hallamos la controversia Tolman-Hull, en torno a un experimento realizado con ratas en un laberinto. Se trataba de un laberinto en el que hay una caja de salida, una caja meta, y tres posibles rutas para realizar el trayecto. Mientras que la ruta 1 es recta, las otras dos suponen un desvío. La diferencia entre ellas es que la ruta 2 entronca con la ruta 1 antes que la ruta 3, que lo hace en una fase más cercana a la caja meta. Según la teoría y las predicciones de Hull, las ratas aprenden una jerarquía de familia de hábitos divergentes. En primer lugar, las ratas prefieren la ruta 1 por ser la más corta, con lo cual se reforzará la conducta de recorrer dicha ruta. Por un razonamiento similar, preferirán la ruta 2 a la 3. Según esta teoría, si colocásemos una barrera al inicio de la ruta 1, las ratas se verán obstaculizadas por este camino, con lo cual deberían ensayar la ruta 2, que acabaría siendo reforzada como ruta preferente. Sin embargo, si se colocase la barrera en una fase más avanzada de la ruta 1, la ruta 2, que entronca con la ruta 1 antes que la 3, toparía también con la barrera. La teoría de Hull predice que, en este segundo caso, las ratas probarían la ruta 1. Al verse bloqueadas, probarían la ruta 2 por orden de preferencia. Sólo al ver que esta opción tampoco es satisfactoria acabarían reforzando el hábito de acceder a la caja meta mediante la ruta 3.

Por el contrario, Tolman sostenía que las ratas no aprendían hábitos de conducta que se verían reforzados sin más, sino que, mediante la exploración inicial del laberinto, adquirían un mapa cognitivo del mismo, a través del cual tomarían las decisiones posteriores. Esta explicación alternativa de la conducta de las ratas llevaba consigo una predicción divergente a la de Hull. Tolman aseguraba que, al toparse con la barrera más avanzada de la ruta 1, las ratas, gracias a la exploración de su mapa mental, descartarían también la ruta 2 por anticipar que también las llevaría a la barrera y, por tanto, optarían directamente por la ruta 3 como segunda opción, sin probar la ruta 2. Los resultados experimentales confirmaron la hipótesis de Tolman (Leahey 2005, pp. 360-362).

Aunque Tolman nunca interpretó estos resultados como un contraejemplo al conductismo, que para él consistía en un modelo metodológico, sí quiso hacer compatible el conductismo con los ‘propósitos’.

Sea como fuere, estos resultados supondrían, a la larga, uno de los golpes más duros para el conductismo, ya que parecía indicar que las ratas disponían de ciertas estructuras o mapas mentales que guiaban su conducta y, por tanto, eran imprescindibles como herramienta explicativa para la ciencia de la psicología. La inclusión de mapas cognitivos, propósitos y procesos mentales era indeseable para una ciencia escarmentada, pero, debido a este y otros argumentos, parecía imposible descartar del todo, incluso en organismos tan simples como el caso de las ratas, el uso de este tipo de procesos cognitivos como factores explicativos.

La segunda gran objeción al paradigma conductista viene de la mano de Chomsky, en una controversia con Skinner. En su obra *Conducta Verbal* (Skinner 1981), Skinner plantea una visión del lenguaje humana partiendo de su concepto de conducta operante. Una conducta operante es aquella conducta que persiste en cualquier animal cuando va seguida de algún reforzador (como por ejemplo la obtención de comida en el caso de las ratas y otros animales) o la evitación de castigos no deseados por el animal. En el caso del lenguaje, Skinner sostenía que un ser humano aprendía desde su infancia que la emisión de ciertos sonidos iba seguida de reforzadores. De este modo, los reforzadores hacían que estas conductas verbales se perpetuasen. Es decir, el lenguaje podía entenderse como un conjunto de conductas operantes que se estabilizan debido al reforzamiento ejercido por el resto de los miembros de la comunidad de dichas conductas. Por ejemplo, ante un determinado estado fisiológico, el niño aprende que emitiendo los sonidos encadenados "Me duele la muela", conseguirá por parte de la comunidad una serie de acciones que le conducirán a aliviar dicho estado fisiológico no deseado (Leahey 2005, pp. 370-371).

La visión del lenguaje conductista suponía que éste consistía en una serie de sonidos que se sucedían debido al reforzamiento que generaba esa concatenación específica de sonidos. Por otro lado, esta sucesión de sonidos se aprendía por imitación del resto de miembros de la comunidad.

Frente a esta perspectiva, Chomsky argumentaba en favor de dos propiedades del lenguaje que contradecían la teoría conductista, como son la productividad y la sistematicidad. Por un lado, Chomsky argumenta a favor de la sistematicidad del lenguaje. El lenguaje no consiste en una mera sucesión de sonidos que, de una forma serial, constituyen oraciones. Más bien, se rige por unas reglas gramaticales latentes que estructuran las oraciones y que determinan *a priori* los enunciados correctos y los incorrectos, sin relación con el aprendizaje asociativo entre estímulos y respuestas. La sistematicidad del lenguaje permite distinguir entre enunciados gramaticalmente correctos e incorrectos (Chomsky 1999), independientemente de si éstos se ajustan a algún conjunto de hechos sobre el mundo, e independientemente de los estímulos de nuestro entorno.

Por ejemplo, si comparamos esta oración "las ideas verdes incoloras duermen furiosamente" con esta otra "ideas verdes las furiosamente incoloras duermen", podemos apreciar que la segunda nos parece una concatenación de palabras gramaticalmente incorrecta. Por el contrario, en el caso de la primera, a pesar de tratarse de una oración sin ningún correlato empírico, y desligada completamente de los estímulos que recibimos del entorno, se trata de una oración gramaticalmente correcta, porque se ajusta a las reglas sintácticas del lenguaje.

Por otro lado, y en relación con la anterior, la productividad del lenguaje implica que un ser humano puede producir un número infinito de oraciones en cualquier entorno o contexto, gracias a la sistematicidad del lenguaje y al poder de combinatoriedad del que lo dota. Los estímulos del entorno no pueden determinar el conjunto de palabras que se utilizarán ni el

orden de las mismas, ya que esto depende de las reglas sintácticas del lenguaje y de sus combinaciones posibles.

Por ejemplo, la oración “Juan le ha pegado a Jorge” es una entre las infinitas oraciones que pueden generarse, si se añaden cláusulas subordinadas alrededor de estos sintagmas. Una opción sería “Juan, que tiene los ojos verdes, y está dotado de una gran fortaleza, ya que desciende de una familia de labradores, como es el caso de Ramón, cuyos abuelos fueron autores de grandes gestas, le ha pegado a Jorge, bajito, delgado y cabizbajo, víctima de una vida pobre y carente de alimentos, debido a la vida errante de sus progenitores, que mediante la estafa y el engaño han intentado por todos los medios, pero en vano, acumular riquezas en la aldea, lo que les ha condenado a recibir el odio y los reproches por parte del pueblo”.

Dicho de otro modo, Chomsky sostenía la tesis de la pobreza del estímulo, en el sentido en que éste no era suficiente para dar cuenta de las múltiples oraciones posibles que pueden emitirse, y de las propiedades del lenguaje mencionadas (Leahey 2005, pp. 381-382).

Para Chomsky, la productividad y la sistematicidad son pruebas claras de que el lenguaje no es algo meramente aprendido mediante asociaciones de estímulos, conductas y reforzadores, sino que implica unas estructuras sintácticas y una productividad que sólo pueden explicarse apelando a procesos mentales internos, innatos y específicamente humanos. Una vez más, el ideal conductista de reducir la psicología a asociaciones de conductas y estímulos observables y manipulables experimentalmente se veía truncado por la necesidad de introducir factores explicativos que apelasen a estados mentales y procesos cognitivos.

La psicología científica no podía volver a caer en los problemas metodológicos del introspeccionismo, pero tampoco podía eludir su responsabilidad de explicar los fenómenos propios de su disciplina, de modo que se veía obligada a introducir una nueva dimensión de análisis, a saber, la de los procesos cognitivos y los estados mentales, así como la relación entre procesos mentales y realidad. La solución a esta paradoja vendría con la emergencia de la inteligencia artificial, muy relacionada con la invención de la computadora, y el consiguiente desarrollo de la psicología y las ciencias cognitivas.

Analicemos la relación entre los elementos aparecidos hasta el momento. Por un lado, la Concepción Heredada encajaba con el rigor metodológico del conductismo y con su espíritu antimentalista. Sin embargo, no podía asumir que el pensamiento de los científicos pudiese reducirse a la asociación entre determinados estímulos del entorno y determinadas respuestas conductuales. En efecto, en la medida en que fundamentaba su estudio de la ciencia en el análisis de las teorías sobre la base del análisis lógico y formal, se situaba más próximo a las tesis de la lingüística de Chomsky y a sus continuadores en el ámbito de la filosofía de la mente, como Fodor, que postulaban un lenguaje del pensamiento anclado en estas reglas formales, sintácticas o estructurales, subyacentes a la lógica y al lenguaje (Fodor 1975). La existencia de una disciplina que consiguiera acceder al estudio de estos mecanismos mentales y a sus reglas de procesamiento sin renunciar al rigor metodológico de la Concepción Heredada sería la síntesis que hacía falta para reunir lo mejor de ambas aproximaciones. La psicología

cognitiva, mediante el desarrollo de la inteligencia artificial, sería la disciplina que conseguiría adquirir estos requisitos.

La computadora es el nexo de unión entre la tradición analítica en filosofía y la psicología cognitiva. Podemos situar la invención conceptual de la computadora en Turing (Turing 1950). Newell y Simon denominan "juego simbólico" a la tarea de formalización del pensamiento y del lenguaje iniciada por parte de Frege y Russell, y lo consideran un claro precedente de la computadora ideada por Turing (Newell y Simon 1974). Como hemos visto anteriormente, un sistema formal cuenta con unos axiomas, a partir de los cuales se pueden derivar un conjunto de teoremas mediante reglas formales de cálculo. Los teoremas están, pues, implícitos en los axiomas, pero se hacen explícitos al poner en marcha las reglas de cálculo. Los sistemas formales son, pues, sistemas cerrados, en la medida en que todas las implicaciones que pueden extraerse de los mismos están contenidos en los axiomas del mismo sistema. Además, son formales, ya que las inferencias que pueden realizarse a partir de los axiomas sólo dependen de las reglas de cálculo lógico, y no de ningún tipo de significado o de la semántica de los símbolos (Newell y Simon 1974).

Intelectuales como Von Neumann se encargaron de implementar la idea de la máquina de Turing en sistemas físicos concretos, donde los estados discretos de ceros y unos y los cambios internos del sistema se efectuaban mediante mecanismos físicos concretos (Newell 1981). Más allá de los detalles físicos, lo interesante es que estos sistemas físicos eran capaces de resolver problemas matemáticos o lógicos puramente formales, y también de jugar al ajedrez de forma automática. La tarea iniciada por Turing en el plano conceptual adquiría de este modo plena materialidad como sistema digital autónomo.

La computadora en Inteligencia Artificial se concibe como una herramienta para simular cualquier sistema formal a partir de la traducción de sus elementos al código binario (Newell y Simon 1974), y contaría con los siguientes elementos. Por un lado, tenemos un almacén de información donde pueden ir recopilándose los datos introducidos. Además, también hallamos en este almacén las reglas formales del sistema, que nos indican qué podemos hacer con esos datos, esto es, de qué modo podemos estructurarlos y combinarlos para dar lugar a nuevos estados del sistema. En el caso de la computadora, tanto los datos como las instrucciones debían expresarse en última instancia mediante el código binario.

Pongamos un par de ejemplos de sistemas formales que pudieran expresarse este tipo de máquinas. En primer lugar, pondremos un ejemplo de la matemática, ya que fue el primer dominio después del desarrollo de la lógica formal que se intentó reducir a un sistema formal axiomático (Gardner 2000).

Los datos en el caso de un sistema formal matemático son fundamentalmente números o incógnitas algebraicas. Imaginemos un sistema sencillo que se circunscribe a los números naturales. La computadora puede representar los diferentes números naturales mediante la combinación de ceros y unos, a pesar de que un número natural muy elevado requeriría un número muy elevado en el código binario. Sea como fuere, es posible desde el punto de vista conceptual. Además, la máquina puede almacenar en su memoria, en su "libro de

instrucciones", el conjunto de operaciones que pueden realizarse en aritmética con esos números naturales, también mediante ceros y unos. Ante una orden del tipo "suma 523 a 111", la máquina puede traducir esos datos al código binario, y expresar la operación "suma" también en código binario. De este modo, la máquina realiza un conjunto de transformaciones internas a partir de esos datos y de la orden de sumar, dando lugar a una respuesta numérica correspondiente a "634".

Como vemos, una máquina de este tipo no debe conocer nada acerca del mundo empírico. Simplemente, debe contener en su libro de instrucciones los axiomas pertinentes al sistema formal que simule en cada caso, y aplicar las reglas de cálculo del mismo a los datos introducidos en la misma para dar lugar a las inferencias que se pueden obtener dentro de dicho sistema, sobre la base de los axiomas y de las reglas de cálculo.

El ajedrez es otro ejemplo prototípico de sistema formal, ya que es un sistema cerrado (todas las implicaciones están contenidas en sus reglas de cálculo), y depende de un conjunto finito de estados, a partir de un estado inicial. Cada posición del tablero puede expresarse mediante una combinación distinta de ceros y unos. Lo mismo podemos decir de cada ficha. En la medida en que cada ficha tiene un conjunto de movimientos limitado, podemos introducir las reglas formales del ajedrez en el libro de instrucciones de la máquina. Finalmente, también se puede codificar cuál es el estado meta deseado (ocupar la posición del rey con alguna ficha).

Una vez hemos codificado los elementos del sistema formal y sus reglas combinatorias, la computadora podrá "jugar" al ajedrez. Cada vez que introducimos los datos de un nuevo estado del sistema, dado nuestro movimiento en el tablero, la máquina recalcula todas las opciones inferenciales del sistema a partir de dicho estado, y, tras este análisis exhaustivo, la máquina ofrece una respuesta del siguiente movimiento. Este análisis de todas las posibilidades combinatorias del sistema se conoce como algoritmo (Newell y Simon 1974). A pesar de que el tiempo que tardaría una máquina en realizar este análisis excede a lo razonable, conceptualmente consideraríamos que una máquina que emite estas respuestas, a pesar de su lentitud, sabe jugar al ajedrez, porque conoce perfectamente los elementos y las reglas del juego, esto es, extraer todas las inferencias posibles a partir de unos axiomas determinados.

Lo que más nos interesa aquí es la idea de Turing, más tarde idea fundacional de la psicología cognitiva y la inteligencia artificial, disciplinas nucleares de las ciencias cognitivas (Gardner 2000), de que estas máquinas podían, en última instancia, simular cualquier conducta que consideraríamos inteligente en el caso de que fuera una conducta emitida por un ser humano. Esto se ha conocido como test de Turing (Turing 1950). La apuesta más radical en ciencias cognitivas era que, si esto era así, es decir, si un ser humano fuera algún día incapaz de discriminar si está hablando con una máquina o con otro ser humano, eso querría decir que los mecanismos mentales humanos no serían en nada distintos a los procesos computacionales internos llevados a cabo por este tipo de máquinas. Dicho de otro modo, lo que hasta entonces era un terreno pantanoso en psicología científica se convertía en algo

observable y manipulable, mediante la programación de las computadoras y la simulación de determinadas conductas y procesos cognitivos humanos (Estany 1999).

Para completar esta promesa iniciada por la hipótesis de Turing, las computadoras no sólo deberían simular las conductas inteligentes relativas a sistemas puramente formales, sino que también deberían simular las conductas humanas relacionadas con el lenguaje natural, la resolución de problemas científicos que incluyen datos del mundo empírico, e incluso otros fenómenos cognitivos como la percepción. Los ceros y unos de la computadora se convertían así en símbolos capaces de representar cualquier estado del mundo, y de emitir respuestas adecuadas a las demandas externas.

La computadora, en el ámbito de la inteligencia artificial, y debido a la influencia de la filosofía analítica, estaba en un principio pensada como una máquina capaz de simular cualquier sistema formal o axiomático, como lo eran, para esta corriente filosófica, la lógica o la matemática, o cualquier juego formal, como el caso del ajedrez. Esto era así gracias a que todos los sistemas formales se caracterizan por tener un conjunto limitado de elementos atómicos, y unas reglas de cálculo formal que permiten combinar esos elementos en un número finito de maneras, dando lugar a una combinatoria de estados posibles en virtud de los elementos atómicos y las reglas de cálculo del sistema.

Las combinaciones de ceros y unos podían representar cualquier conjunto de elementos atómicos de un sistema formal determinado, asignando combinaciones diferenciales para cada elemento. Por otro lado, el "libro de instrucciones" permitiría asignar una combinación de ceros y unos a cada operación formal permitida en este sistema formal, dando lugar así a todas las combinaciones posibles de dicho sistema. El GPS (*General Problem Solver*) de Newell y Simon es un programa de ordenador que consiste en representar cualquier problema de un sistema formal (resolución de una ecuación, partida de ajedrez, etc.) partiendo de un estado del sistema, y calculando las posibles combinaciones permitidas, alcanzando progresivamente aquella que mejor concuerda con el estado meta (aislamiento de la incógnita en el primer caso, u ocupar la posición del rey en el tablero en el segundo) (Best 2000, pp. 426-429).

La computadora satisfacía así los dos aspectos de la representación enumerados por la filosofía analítica, a saber, el "qué" y el "cómo" de la representación. El "qué" sería la correspondencia entre combinaciones de ceros y unos y los diferentes elementos atómicos o entidades del sistema formal que representa. El "cómo" haría referencia a las operaciones que lleva a cabo la máquina, mediante manipulación de ceros y unos, isomórficas a las operaciones formales del sistema en cuestión. Newell y Simon recogen estas dos propiedades como las esenciales a la computadora, denominada por los autores "sistema físico de símbolos":

"Designación: Una entidad X designa una entidad Y relativa a un proceso P, si, cuando P recibe X como entrada, su conducta depende de Y; Interpretación: El sistema puede interpretar una expresión si la expresión designa un proceso y si, dada la expresión, el sistema puede llevar a cabo ese proceso" (Newell y Simon 1974, p. 86).

La designación se correspondería con el "qué" de la representación, mientras que la interpretación lo haría con el "cómo". La idea principal de estos autores es que un sistema físico de símbolos reúne todas las condiciones para ser considerado un sistema capaz de llevar a cabo conductas consideradas inteligentes por un observador: "A physical symbol system has the necessary and sufficient means for general intelligent action" (Newell y Simon 1974, p. 87).

Del mismo modo que la Concepción Heredada tenía el propósito de ampliar el análisis formal de los sistemas axiomáticos a las teorías científicas de las ciencias empíricas, Newell y Simon querían mostrar que la máquina de Turing no sólo sería capaz de simular la conducta humana en la manipulación de sistemas lógico-formales, sino en todos aquellos aspectos en que consideramos inteligente la conducta humana. Para ello, estos autores argumentan que la noción de símbolo no sólo debe aplicarse a números y elementos de un sistema axiomático, sino a cualquier elemento del entorno. Es decir, la mente humana se caracterizaría por realizar representaciones simbólicas de los diferentes elementos de la realidad, y de manipular estas estructuras simbólicas para ofrecer respuestas inteligentes y adaptativas (Simon 1981). Fruto de esta argumentación, autores como Fodor recuperaban la noción del Lenguaje del Pensamiento (Fodor 1975), totalmente derrocada con el conductismo, y proponía que este lenguaje funcionaría mediante la representación simbólica y la computación de estas representaciones siguiendo unas leyes sintácticas o formales determinadas. En resumen, mientras que Turing construyó una máquina capaz de simular todo sistema formal, Newell y Simon proponían una máquina capaz de extender la simulación de la máquina de Turing a conductas inteligentes relacionadas con el mundo físico, del mismo modo que la Concepción Heredada quería extender las herramientas de análisis lógico a las teorías científicas del mundo empírico.

Veamos un ejemplo de programa de computadora que tiene por objetivo simular la conducta de una neurótica, elaborado por Colby (Boden 1984, pp. 43-94). A pesar de que se trata de un programa muy sencillo, recoge todos los elementos esenciales que queremos destacar aquí.

Se trataba de un programa que tenía el objetivo de pasar el test de Turing, esto es, de simular la conducta humana de una consulta terapéutica hasta el punto en que un analista no supiera discriminar si estaba hablando con una persona o con una computadora. Desde este punto de vista, el programa era una herramienta de investigación para la psicología cognitiva, ya que si la computadora superaba el test, habría que ver qué procesos simbólicos internos llevados a cabo por la computadora podían también suponerse en el caso de los estados y procesos mentales de la neurosis humana.

En líneas generales, el funcionamiento del programa de Colby se puede resumir del siguiente modo. El programa simula la mente de una mujer que odia a su padre, según indica, por la creencia de que la abandonó. Sin embargo, es incapaz de expresar esta creencia almacenada en su "Ello", ya que entra en conflicto con su Súper-Yo. Así pues, el programa simula las estrategias de asociación libre prototípicas de la teoría de Freud, y emite una serie de creencias en torno a esta temática. Algunos ejemplos son los siguientes: "Las personas no

deben abandonar a las personas." "Los hombres pobres son irresponsables." "Yo debo amar a mi padre.", etc. (Boden 1984, p. 62).

Cada una de estas creencias almacenadas en la base de datos tiene otorgada una "carga emotiva", que además puede ir modificándose a lo largo de los cambios de estado de la máquina. Por otro lado, también hay 5 números ("monitores") que representan los estados emotivos de ansiedad, excitación, placer, autoestima y bienestar, que también fluctúan según las circunstancias de acuerdo a las reglas computacionales o "libro de instrucciones" de las operaciones del sistema.

El objetivo del programa es el de poder expresar las creencias almacenadas pero reduciendo el conflicto interno entre el "Ello" y el "Súper-Yo". Para ello, el programa selecciona en primer lugar una creencia central, que suele incluir un "debe". En segundo lugar, selecciona un acervo de creencias relacionadas con la creencia central (en función de las reglas del programa), y escoge aleatoriamente una creencia dominante. A continuación, el programa, en función de la carga emotiva de la creencia, y del estado emocional general del sistema ("monitor"), decide si esa creencia puede generar un conflicto interno con la central. Si no es así, el programa imprime esta creencia tal cual. En caso de que exista conflicto interno, el programa realiza un conjunto de operaciones que permiten emitir otra creencia que reduce el nivel de ansiedad del sistema. Estas operaciones simulan los mecanismos de defensa de la teoría de Freud. Este conjunto de operaciones se incluye en las instrucciones TRANSFORM del programa (Boden 1984, p. 49).

Cada tipo de transformación reduce el nivel de ansiedad del conflicto en un nivel determinado. La elección de la transformación a aplicar depende, pues, del grado de ansiedad y de autoestima señalados por los monitores, y de la cara emotiva de la creencia.

El programa de Colby cuenta, por tanto, con un "libro de instrucciones" que permite operar sobre determinadas estructuras simbólicas. Este libro de instrucciones se basa, por un lado, en un conjunto de reglas sintácticas o formales que indican cómo deben transformarse las estructuras simbólicas hasta dar con una estructura que represente una creencia con un nivel de ansiedad de baja intensidad, que pueda ser emitido por el programa sin generar un elevado conflicto intrapsíquico.

En este sentido, el programa exige la formalización del pensamiento neurótico, según la teoría de Freud, y más concretamente en la interpretación que Colby había hecho de esta teoría a lo largo de su carrera como psicoanalista. De este modo, la simulación del pensamiento humano mediante sistemas físicos de símbolos presuponía la formalización de las teorías sobre la base de las cuales el programador estructuraba su "libro de instrucciones" o conjunto de operaciones posibles del programa:

"Un programa en funcionamiento es una teoría cuyo propósito es más que ser una película de un retrato de la mente, y la programadora debe especificar con precisión cómo acontecen los diversos fotogramas. Muchas teorías verbales, como las del mismo Freud, también intentan ser modelos del pensamiento en movimiento. Pero es demasiado fácil cuando se teoriza en términos verbales imaginar que se ha explicitado la cuestión cuando en realidad no se ha

hecho. Puesto que a una computadora solamente un programa le puede decir qué hacer, la teoría, en buena medida intuitiva, de la programadora debe ser expresada en términos computacionales. No basta con decir que debe acontecer cierta progresión de pensamientos: el programa ha de representar *cómo* puede acontecer" (Boden 1984, p. 59).

Este punto pone de manifiesto los paralelismos entre el proyecto de la Concepción Heredada en filosofía de la ciencia y la hipótesis de los sistemas físicos de símbolos en ciencias cognitivas. En ambos casos, el objetivo es el de formalizar el pensamiento mediante estructuras sintácticas que operan según un conjunto cerrado de reglas formales.

En segundo lugar, el programa no sólo debía contener un conjunto de reglas sintácticas derivadas de la formalización de la teoría, sino que las estructuras simbólicas del mismo debían representar estructuras del pensamiento y del mundo. Por ejemplo, las estructuras simbólicas del programa de Colby representaban creencias típicas del pensamiento neurótico, que a su vez representaban determinados estados del mundo, que implicaban elementos del mundo, como diferentes personas, relaciones entre estos elementos, como es el caso de las relaciones de parentesco, así como acciones relacionadas con estos elementos (como pueda ser la acción de evitación), o de estados internos relacionados con estos elementos (como el odio hacia el padre o la admiración por otras personas del entorno).

De este modo, tanto la Concepción Heredada como el cognitivismo, o primera generación en ciencias cognitivas, partían de la base de que el pensamiento y el mundo tenían unas estructuras isomórficas que podían representarse mediante el lenguaje, y especialmente la formalización del mismo, y que las operaciones sintácticas que podían realizarse en el lenguaje implicaban deducciones e inferencias que podían considerarse válidas en el terreno del pensamiento y de las relaciones entre los hechos del mundo. Los sistemas formales y la correspondencia entre éstos y el pensamiento y el mundo son los elementos comunes que hemos hallado en esta primera generación, tanto en filosofía de la ciencia como en ciencias cognitivas.

En el siguiente apartado analizaremos algunos de los problemas compartidos por estas dos áreas de conocimiento en su primera generación, y veremos las alternativas ofrecidas en ambos casos en lo que se ha considerado la segunda generación tanto en filosofía de la ciencia como en ciencias cognitivas. Pero antes recopilaremos brevemente las propiedades que la primera generación en filosofía de la ciencia y en ciencias cognitivas nos han dejado sobre la cognición humana. La elaboración de una teoría unificada e integrada de la cognición, sobre la base de la cual se desarrolle un modelo de la práctica científica capaz de dar cuenta de la complejidad de este producto de la actividad humana, deberá tener en cuenta estas propiedades cognitivas.

2.3.1. PROPIEDADES DE LA COGNICIÓN DE LA PRIMERA GENERACIÓN

La primera generación en ciencias cognitivas y filosofía de la ciencia se ha enfrentado a uno de los retos más difíciles de abordar por la mente humana, a saber, el de las propiedades específicas de sus capacidades cognitivas con respecto al resto de seres vivos. El ser humano

puede considerarse un ser único en la naturaleza, en la medida en que es capaz de producir conocimientos abstractos, simbólicos, cuya sistematicidad y generalizabilidad hacen que este tipo de conocimientos no esté ligado a un entorno o unas circunstancias particulares. Más bien, el ser humano llega a producir áreas de saber reguladas exclusivamente por reglas formales, sintácticas, que garantizan la universalidad de los razonamientos y deducciones generados sobre la base de estas reglas.

El lenguaje, la lógica o la matemática son los ejemplos paradigmáticos de este tipo de conocimiento y estructuras simbólicas generados por nuestra especie. Además de esta sistematicidad, la cognición humana se caracteriza por su capacidad de representar, mediante estos sistemas, diferentes aspectos de la realidad, sobre los cuales se pueden generar inferencias y deducciones, utilizando las reglas formales y sintácticas de estos sistemas con los que se están representando estos aspectos del mundo. Las teorías de las ciencias naturales, como la física o la química, completamente matematizadas, serían ejemplos paradigmáticos del poder representacional y computacional de la cognición humana.

En resumen, la cognición humana genera estructuras y sistemas de conocimiento, que a su vez poseen propiedades representacionales, en la medida en que sus estructuras constituyen símbolos de determinados hechos o estados internos. Estas propiedades de la cognición se encuentran en muchos de nuestros procesos cognitivos y en muchos de sus productos resultantes, como es el caso de la ciencia. Sin embargo, estas propiedades no tienen por qué explicarse a partir de la hipótesis de que la mente humana posee estructuras y reglas formales del pensamiento innatas, que quedan representadas por las estructuras sintácticas del lenguaje, y que a su vez representan estructuras o hechos de la realidad, considerados como algo independiente a la subjetividad o la intersubjetividad humanas, y garantes de la posibilidad de establecer el valor de verdad de los enunciados del lenguaje. En los siguientes apartados veremos algunos problemas de este tipo de explicaciones.

3. SEGUNDA GENERACIÓN: REDES DE SIGNIFICADOS Y CONSTRUCCIÓN DE MUNDOS

3.1. CRÍTICAS A LA PRIMERA GENERACIÓN: INICIO DE LAS PROPUESTAS ALTERNATIVAS

Comenzaremos con las críticas sufridas por la primera generación tanto en filosofía de la ciencia como en ciencias cognitivas. En ambos casos, hallamos una serie de problemas que, aunque emergen desde diferentes perspectivas y niveles de análisis, tienen puntos en común, en la medida en que comparten unos principios básicos en torno a la formalización del pensamiento y la correspondencia entre elementos atómicos del sistema formal y elementos atómicos de la realidad, así como de unas estructuras y reglas formales compartidas.

En primer lugar abordaremos algunos de los problemas que se hallaron en la simulación computacional del pensamiento humano, partiendo del ejemplo de Colby utilizado anteriormente, y de otros más próximos a la ciencia. En segundo lugar, veremos que estos problemas guardan un paralelismo notable con los problemas que se encontraron en el

proyecto de axiomatización de las teorías científicas de la Concepción Heredada. No en vano, las críticas recibidas en ambos sectores tenían un fondo común, en la medida en que se trataba de críticas dirigidas a la empresa de la formalización del pensamiento y del lenguaje iniciada por la filosofía analítica, y cuyos presupuestos estaban en la base de la primera generación, tanto en filosofía de la ciencia como en ciencias cognitivas.

3.1.1. LIMITACIONES DE LA FORMALIZACIÓN DE LA COGNICIÓN HUMANA Y REIVINDICACIÓN DE LA SEMÁNTICA

Retomando el ejemplo analizado anteriormente, junto con el estudio de otros similares, Boden señala cuatro deficiencias serias de este tipo de programas (Boden 1984, p. 83). Lo que más nos interesa destacar aquí no son las limitaciones, sino más bien la razón básica de las mismas, que reside fundamentalmente en la ausencia de una representación conceptual a nivel semántico.

Por ejemplo, en el caso del programa de Colby, estas deficiencias dependen básicamente de la carencia de una representación fundamental del significado, o semántica, por referencia a la cual debería funcionar todo incremento de la capacidad razonadora que quisiéramos suministrar para que el programa constituyera un modelo teórico más plausible de la neurosis humana. Tal y como indica Boden, la neurótica artificial de Colby casi no sabe nada de las maneras como se conectan entre sí los diferentes conceptos. Sabe que odio y amor son antónimos, y que aborrecer, detestar, odiar, disgustar, desaprobar y rechazar son verbos sinónimos de fuerza decreciente, en la medida en que está codificado en su libro de instrucciones. Sin embargo, no sabe que el amor tiene algo que ver con ayudar y cuidar de la persona amada, con lo cual el conflicto entre el amor y la conducta de desamparo no es un conflicto al que el programa sea sensible. En cuanto una ansiedad neurótica estuviera centrada en el reconocimiento espontáneo de este tipo de conflicto, no podría ser imitada por el programa en su estado presente (Boden 1984, pp. 83-88).

Incluso la simulación de programas de resolución de problemas matemáticos ha puesto de manifiesto la necesidad de introducir elementos semánticos para la correcta comprensión y solución del problema. Por ejemplo, tal y como argumenta Boden, no se puede esperar que STUDENT (uno de los programas prototípicos de la época, encargado de resolver problemas matemáticos) responda plausiblemente a la pregunta “Si un hombre de veinte años es capaz de coger ocho kilos de moras en un día y una muchacha de dieciocho es capaz de coger nueve, ¿cuántos kilos cogerán si van juntos al campo?”. En muchos casos, es necesario el conocimiento general no sólo para responder a una pregunta sensatamente sino también para interpretarla correctamente. En resumen, la interpretación cotidiana del lenguaje requiere un despliegue de la información semántica para asignar sentido y sintaxis a las expresiones particulares (Boden 1984, p. 155).

Las ciencias cognitivas nos muestran de este modo que cuando una computadora pasa de simular sistemas formales a teorías acerca del mundo empírico no puede limitarse a utilizar las mismas estrategias, presuponiendo que los elementos simbólicos del sistema

representarán elementos atómicos del mundo físico o mental. La simulación de teorías del mundo empírico requiere de una información conceptual y semántica rica, densa y compleja, que permita representar la red de significados de nuestro sentido común, asociado al mundo que nos rodea.

Esto nos permitirá comprender una de las críticas fundamentales de la Nueva Filosofía de la Ciencia a la Concepción Heredada, a saber, que las teorías científicas presuponen una red semántica o conceptual de significados que permite dar sentido a algún aspecto del mundo físico. La correspondencia entre un sistema formal, y hechos atómicos del mundo, sobre la base de un lenguaje meramente formal tenía que dar paso a una visión de las teorías como redes semánticas o conceptuales que permitieran generar una representación global de algún aspecto del mundo. Sólo dentro de esta red conceptual pueden entenderse plenamente los enunciados de la teoría. La axiomatización y las reglas de correspondencia para tratar enunciados o afirmaciones teóricas carecían de esta dimensión semántica y, por tanto, no podría dar cuenta de una teoría científica en toda su complejidad.

En síntesis, los programas de STUDENT y el programa de neurosis artificial de Colby, entre otros, proceden como los sistemas axiomáticos empíricamente interpretados del empirismo lógico, hallando reglas de correspondencia superficiales entre elementos atómicos del entorno y determinados enunciados teóricos, obviando el fondo semántico y contextual.

Estos programas reaccionan a determinadas palabras u oraciones de un modo inflexible, de modo que sus posibilidades de respuesta se circunscriben a un área del discurso, a diferencia de la productividad del lenguaje humano, que aborda áreas diversas de conocimiento. Las sutilezas del razonamiento humano se basan en la capacidad de explorar la semántica del léxico utilizado, ajustando el significado de las palabras al contexto que se trate en cada caso. Las simulaciones por ordenador carecen por tanto de este amplio conocimiento de dominios semánticos diversos, en torno a los cuales se estructuran los significados de las palabras (Boden 1984, pp. 142-143).

Antes de iniciar el análisis de nuevos modelos alternativos en filosofía de la ciencia y ciencias cognitivas, veremos un par de ejemplos más de programas basados en las premisas del cognitivismo para detectar algunas de sus insuficiencias a la hora de caracterizar la cognición humana, así como las implicaciones de todo esto en la filosofía de la ciencia.

Nos situamos ahora en el ámbito de la percepción. En la medida en que un programa de ajedrez, por ejemplo, elabora un análisis atómico de los diferentes elementos del juego para computar su estado global, la simulación de la percepción humana también se llevó a cabo mediante este procesamiento “de abajo a arriba”. Marr, por ejemplo, diseñó programas que elaboraban un análisis de los elementos de la imagen visual, y poco a poco iba construyendo una imagen computacional a partir de las reglas computacionales almacenadas por el programa (Gardner 2000, pp. 298-307). Otros programas similares llevaron a cabo el reconocimiento visual de figuras geométricas (Boden 1984). Estos programas de ordenador, como en el caso del programa de Colby, tampoco superaron el test de Turing. El problema residía fundamentalmente en que la percepción visual humana no parece proceder “de abajo a

arriba", sino que en gran parte se basa en un procesamiento "de arriba abajo". El estudio de la percepción por parte de la teoría de la Gestalt ponía de manifiesto que ante imágenes con estímulos idénticos, diferentes sujetos podían interpretarla como cosas totalmente diferentes (Gardner 2000, pp. 111-117). Esto se debe a que el procesamiento de la imagen se lleva a cabo a partir de la configuración o interpretación global de la misma, y no de un agregado de elementos.

En otro experimento, De Groot comparó los resultados en cuanto a memoria visual de expertos y novatos en el ámbito del ajedrez. Se trataba de memorizar y reproducir cierta organización de las piezas del tablero, en diferentes fases de una posible partida. Los expertos tenían una mayor capacidad para reproducir la localización exacta de las piezas. Sólo cuando las piezas se colocaban al azar en el tablero el rendimiento entre ambos grupos era prácticamente el mismo (Simon 2006, p. 86). Esto hace pensar que los expertos tienen mejor memoria visual cuando la organización global de las piezas en el tablero responde a un patrón significativo o prototípico de estrategias utilizadas en el ajedrez. A diferencia de la "percepción" atomizada de la computadora, los expertos perciben el tablero como un todo organizado en función de la significación de las posiciones en el tablero, según las relaciones de las piezas. En resumen, la percepción visual como un todo era otro de los aspectos, junto al papel de la red semántica en la comprensión del significado, en que la inteligencia humana difería de la computacional. Por tanto, un modelo de la ciencia debía incluir este aspecto de la cognición humana en la generación y contrastación de teorías científicas.

Finalizaremos con los programas computacionales de traducción automática. El auge de la filosofía analítica, junto con el de la gramática de Chomsky, contribuyeron enormemente a concebir el lenguaje humano como un sistema simbólico que respondía a unas reglas sintácticas formales de las cuales podían derivarse los significados de los diferentes enunciados. Dicho de otro modo, tanto para una como para la otra la semántica dependía de la sintaxis. En este sentido, el lenguaje podría tratarse como un sistema formal y, por lo tanto, ser simulado por una computadora. Dado que la sintaxis se consideraba universal y compartida por todas las lenguas de todas las culturas y grupos humanos (Chomsky 1999), debía haber un nivel de simulación que permitiese hallar equivalencias entre las estructuras superficiales de las diferentes lenguas. El otro aspecto fundamental para entender los enormes esfuerzos en los programas de traducción automática (Dreyfus 1992) es que para la tradición formalista los diferentes elementos del lenguaje (léxico) debían corresponderse con elementos del mundo. De este modo, cada unidad de la oración se corresponde con algún estado o proceso del mundo, y la sintaxis sirve para generar una estructura lingüística isomórfico a dicho estado o proceso.

Como todos los lenguajes estructuran la realidad mediante la misma sintaxis, y sus léxicos representan los elementos "del" mundo, debemos suponer que toda oración de cualquier lenguaje puede traducirse de forma inequívoca a cualquier otro lenguaje[3].

[3] Para más detalles de la relación entre la teoría lingüística de Chomsky y la teoría cognitiva del procesamiento de la información, véase Simon 2006, pp. 90-92.

A pesar de los esfuerzos dedicados, los programas de traducción basados en estos principios no cumplieron las expectativas (Dreyfus 1992). Una vez más, la explicación a este fracaso parece residir en la desconsideración del papel crucial que juegan la semántica y el contexto en la comprensión humana:

"La teoría lingüística, por el momento, es sobre todo una teoría de la sintaxis, de la gramática. En su aplicación práctica a tareas como la traducción automática, encuentra dificultades cuando la traducción depende no sólo de las marcas sintácticas sino también del contexto y del significado. Está claro que una de las grandes líneas en que la teoría lingüística habrá de avanzar es en el desarrollo de una semántica adecuada que complemente la sintaxis" (Simon 2006, p. 92).

Para el propio Simon, la base semántica como listas jerarquizadas permitiría programar computadoras tanto para la comprensión y traducción del lenguaje natural como para la percepción visual como patrones organizados, más que como agregado de elementos (Simon 2006, pp. 92-96).

La visión de las teorías científicas como sistemas formales empíricamente interpretados del empirismo lógico no era muy diferente al de los programas de traducción automática basados en la sintaxis. Según la Concepción Heredada, las teorías científicas podían analizarse mediante el lenguaje lógico, que constituía el esqueleto subyacente a las diferentes teorías. Por otro lado, estas teorías tenían reglas de correspondencia entre sus términos o elementos y determinados términos observacionales. Por lo tanto, debían existir "traducciones" o relaciones interteóricas entre diferentes teorías científicas que tratasen de los mismos términos observacionales. Por ejemplo, la mecánica newtoniana era para la Concepción Heredada un subconjunto de la einsteniana.

El fracaso de los programas de comprensión del lenguaje, de percepción visual y de traducción automáticos ponía de manifiesto que la cognición humana consistía más en la elaboración de redes semánticas y conceptuales que dotaran de significación a determinados aspectos del mundo, que en la estructuración formal de ciertos elementos atómicos mediante un conjunto de operaciones de cálculo. El contexto y el significado eran aspectos ineludibles de la cognición humana.

La filosofía de la ciencia puede seguir elaborando sistemas formales acerca de las teorías científicas para valorar su rigor lógico. Sin embargo, aparte de las dificultades intrínsecas de esta empresa y de la imprecisión de algunas de sus distinciones conceptuales fundamentales, como la diferencia entre términos teóricos y observacionales nos parece que una filosofía de la ciencia que quiera ser significativa y relevante debe dar cuenta de la actividad científica tal y como se da en la práctica, así como de los mecanismos cognitivos que rigen dicha actividad (Giere 1990, p. 95). Si los científicos no evalúan sus teorías en términos puramente sintácticos y formales, consideramos que la filosofía de la ciencia ganaría en relevancia y validez para la propia comunidad científica al asumir el reto de elaborar modelos explicativos que consideren los mecanismos de generación y evaluación de teorías propio de los procesos cognitivos implicados en la ciencia.

A continuación veremos las propuestas de la Nueva Filosofía de la Ciencia. Una vez más, nos centraremos en las cuestiones que dejan acerca de la mente, así como las posibles respuestas o soluciones que encontramos en el origen de las ciencias cognitivas. Esto nos permitirá recoger nuevas propiedades de la cognición que nos parece esencial tener en cuenta para el desarrollo de una teoría integrada y unificada de la cognición humana.

3.1.2. *PROBLEMAS DE LA AXIOMATIZACIÓN: TRANSICIÓN DE LA CONCEPCIÓN HEREDADA A LA NUEVA FILOSOFÍA DE LA CIENCIA*

La experiencia de generar simulaciones de programas inteligentes que pasaran el test de Turing puso de manifiesto algunas diferencias significativas entre los procesos cognitivos llevados a cabo por la mente humana y los programas de ordenador basados en la hipótesis del sistema físico de símbolos. Estas diferencias fueron que la cognición humana parecía depender de una red semántica o conceptual subyacente a los elementos simbólicos y formales del lenguaje, que la percepción humana consistía más en el reconocimiento de patrones que responden a una cierta organización que a la combinación de determinados elementos atómicos, y que no existía una traducción directa entre diferentes lenguajes naturales basándose exclusivamente en correspondencias léxicas y en una sintaxis universal subyacente.

La filosofía de la ciencia, debido al fondo común en sus compromisos teóricos con las ciencias cognitivas, comenzaría a plantear problemáticas similares, cuestionándose la validez del análisis axiomático y sintáctico de las teorías, y a plantearse la necesidad de incluir aspectos semánticos y conceptuales de fondo, o la consideración de la percepción como el reconocimiento de patrones, tal y como proponía la teoría de la Gestalt (Kuhn 1971, p. 11), o la imposibilidad de traducir todos los lenguajes teóricos a un lenguaje lógico y observacional común. El resultado de esta revisión sería un panorama radicalmente nuevo en filosofía de la ciencia, en muchos casos opuesto a la Concepción Heredada.

En el campo de la filosofía de la ciencia, aparecía una crítica a los presupuestos de la Concepción Heredada, similar a la que se hizo a los programas de ordenador que carecían de un conocimiento semántico denso. En estos programas, cada elemento atómico del mismo simbolizaba algún aspecto del lenguaje, y el significado de estos elementos dependía del conjunto de operaciones que podían llevarse a cabo con esos símbolos. Del mismo modo, desde el punto de vista de la Concepción Heredada, los axiomas de una teoría determinaban el significado de los términos primitivos, así como el conjunto de teoremas y términos derivados. El significado de la teoría dependía, pues, exclusivamente de los enunciados axiomáticos.

Quine ofreció una crítica a esta idea, defendiendo que el significado de cualquier término en un lenguaje o sistema lógico depende de las relaciones con todos los demás términos de ese mismo lenguaje (Quine 1959). Esta conclusión desafiaba distinciones como la que habían establecido entre juicios analíticos o sintéticos, y términos primitivos o derivados.

Esta tesis se conoce como tesis del ‘holismo del significado’. Quine trató de establecer los compromisos ontológicos de los lenguajes lógicos aparecidos a comienzos del pasado siglo,

llegando a la conclusión de que según el sistema o nivel de lógica utilizado, se asumían diferentes compromisos ontológicos. Por ejemplo, en la lógica de primer orden, las variables se aplicaban a entidades. Por otro lado, en la lógica de segundo orden, las variables se aplicaban a propiedades (Quine 1959).

Esta tesis, en un principio derivada de y aplicable al lenguaje lógico-matemático, adquiriría un alcance mayor cuando Quine extraía las consecuencias de un resultado técnico de la lógica de primer orden, a saber, el teorema Löwenheim-Skolem. Así enuncia Quine el teorema en sus *Métodos de lógica* (Quine 1959, p. 259):

"If a class of quantificational schemata is consistent, all its members come out true under some interpretation in the universe of positive integers".

La conclusión es que el significado de una oración no puede derivarse de sus propios términos en correspondencia con unos hechos determinados, ni de un conjunto de axiomas aislados, sino que el significado de cada oración depende del valor de verdad que se le otorgue a todos los enunciados de un sistema lógico o lenguaje dado.

Por otro lado, encontramos en Duhem, antes incluso de la consolidación de la Concepción Heredada, una apelación a este holismo del significado desde el estudio histórico de la ciencia. Según Duhem, todo informe observacional supone una interpretación de los datos de los sentidos, esto es, una conceptualización teórica, sea implícita o explícita. Duhem analiza múltiples casos históricos desde los que extrae sus conclusiones holistas, poniendo en primer plano de reflexión filosófica la historia de la ciencia, como haría posteriormente la Nueva Filosofía de la Ciencia. Posteriormente, Popper fue un autor crítico con el empirismo lógico en este punto, al afirmar que en la determinación de la base de contrastación de "los hechos", interviene un conocimiento de fondo necesitado de aceptación previa. Al someter a prueba una teoría, señala, no sólo intervienen en ella las condiciones iniciales y los supuestos auxiliares, sino también cierto conocimiento de fondo sobre los hechos singulares.

También inspirado por análisis históricos hallamos conclusiones similares en Fleck:

"En la historia del conocimiento científico no existe ninguna relación lógico-formal entre las relaciones de sus pruebas: las pruebas se acomodan a las concepciones tan a menudo como las concepciones a las pruebas. Después de todo, las concepciones no son sistemas lógicos, por más que siempre aspiren a serlo, sino unidades fieles a un estilo que o bien se desarrollan como tales, o bien se funden junto con sus pruebas en otras unidades (Fleck 1986, pp. 68-75).

Finalmente, autores radicales como Feyerabend sostendrían que "la interpretación de un lenguaje de observación está determinada por las teorías que usamos para explicar lo que observamos, y cambia tan pronto como estas teorías cambian" (Feyerabend 1989, p. 6).

En esencia, la idea que queremos rescatar aquí es que, de un modo similar a como los programas computacionales que hemos analizado no podían simular la inteligencia humana por carecer de un conocimiento semántico de fondo, las teorías científicas no podían entenderse como sistemas axiomáticos empíricamente interpretados, porque el significado de todos sus términos dependían de una interpretación global u holista de la realidad de todo el

sistema. Las teorías científicas debían interpretarse a la luz de este conocimiento de fondo, previo a cualquier enunciado aislado.

La segunda crítica al procesamiento simbólico era la de la percepción visual. Vimos que, a diferencia de las computadoras, los seres humanos procesan la información visual "de arriba abajo" (*top-down*), esto es, a partir de patrones organizados que permiten relacionar los elementos de la imagen como un todo significativo. Por lo tanto, parece que la percepción humana, del mismo modo que el lenguaje, depende de este conocimiento de fondo semántico que permite dar sentido a los estímulos. Esto, junto con la tesis holista del significado, parecía indicar que la percepción depende de la red conceptual de la persona. En el campo de la filosofía de la ciencia esta tesis fue ganando aceptación, y fue desplazando a la distinción teórico-observacional, hasta consolidarse la tesis de la carga teórica de la observación.

Hanson analiza los desacuerdos de científicos como Tycho Brahe o Kepler en torno al sistema astronómico, y llega a la conclusión de que sus desacuerdos se deben, en última instancia, a que no "ven" lo mismo, porque tienen redes conceptuales diferentes sobre dicho sistema.

Para Hanson, la observación en física no es un encuentro con elementos del mundo que se observan directamente, sino que viene determinada por la proyección de estructuras conceptuales que permiten clasificar estos elementos en una clase u otra de fenómenos, dentro de un todo organizado que conecta en una red de significados dichos elementos. Es el sentido en que no ven la misma cosa el que debe tomarse en cuenta para entender los desacuerdos que existen dentro de la física" (Hanson 1977, pp. 84-105).

Ha habido grandes debates relacionados con la distinción teórico-observacional desde el punto de vista filosófico. Sin embargo, como dijimos anteriormente, lo más importante para nuestros propósitos es comprender que esta distinción no es relevante para la propia práctica científica. Giere llega a esta conclusión al analizar los libros de texto de mecánica (Giere 1990, p. 62-91). La filosofía de la ciencia requería de un modelo capaz de dar cuenta del conocimiento de fondo subyacente a las teorías científicas, así como de la carga teórica de la observación.

La tercera idea que hemos extraído a partir de la experiencia con programas de simulación y que tuvo una enorme trascendencia en la transición de la Concepción Heredada a la Nueva Filosofía de la Ciencia fue la del problema de la traducción de oraciones de un lenguaje a otro diferente. Como vimos, el fracaso de los programas de traducción en computación puso de manifiesto que ésta va más allá de la conexión de elementos simbólicos a través de unas reglas de cálculo formales o sintácticas universales. Cada lenguaje implica un conocimiento de fondo o red conceptual o semántica distinta. En este sentido, no existe un lenguaje neutral independiente de estas redes conceptuales ni un conjunto de términos observacionales neutros. La interpretación del valor de verdad de cada enunciado depende de todo el sistema, y esto implica que cada lenguaje implique una interpretación única del mundo.

La indeterminación de la traducción es una tesis de Quine derivada de su holismo del significado (Quine 1968, 1974). Quine pone de manifiesto que hay siempre diferentes maneras

en las que uno puede segmentar una oración en palabras. Cualquier hipótesis de traducción podría ser defendida sólo por apelar al contexto, por determinar qué otras sentencias relacionadas emitiría un hablante. Pero la indeterminación aparecería, en la medida en que cualquier hipótesis puede ser defendida si uno adoptase hipótesis compensatorias de otras partes del lenguaje.

Utilizando el ejemplo paradigmático del propio Quine, imaginemos que un hablante emite la palabra "gavagai" al señalar lo que en nuestra lengua denominamos conejo. El lingüista podría hacer lo que parece natural y traducir el término por "conejo". Pero otras traducciones serían compatibles con la evidencia que él tiene en ese momento: "hay comida", "vayamos a cazar", "habrá una fuerte tormenta esta noche", "la pierna del conejo". Este tipo de indeterminación implica la imposibilidad de hallar un marco observacional común ajeno al fondo de conocimiento que supone cada lenguaje utilizado. Dicho de otro modo, como cada sistema lingüístico implica unos compromisos ontológicos propios, no existe ninguna correspondencia o equivalencia entre los términos aislados de dos sistemas simbólicos o lenguajes diferentes. Dicho en otros términos, la referencia es inescrutable (Quine 1959), y los sistemas lingüísticos son inconmensurables (Kuhn 1971, Feyerabend 1989) y no se solapan (Kuhn 1989, 2002).

Kuhn propone el siguiente ejemplo de traducción de términos del francés para concretar la tesis del no solapamiento de los lenguajes:

"Dependiendo del contexto, esprit puede ser remplazada por términos del castellano como "espíritu", "aptitud", "mente", "inteligencia", "juicio", "ingenio" o "actitud". La segunda [doux/douce], que es un adjetivo, puede aplicarse, *inter alia*, a la miel ("dulce") a la lana ("suave"), a una sopa poco sazonada, ("suave"), a un recuerdo ("tierno"). Éstos son casos de ambigüedad, sino de disparidad conceptual entre el francés y el castellano. Esprit y doux/douce son conceptos unitarios para las personas que hablan francés, pero las que hablan castellano, como grupo, no tienen equivalentes. Por consiguiente, aunque las diversas traducciones que he ofrecido preservan el valor veritativo en contextos apropiados, ninguna de ellas es intensionalmente precisa en ningún contexto. Esprit y doux/douce son pues ejemplos de términos que pueden ser traducidos sólo parcialmente y mediante un compromiso. La elección del traductor de una palabra o frase del castellano para uno de ellos supone *ipso facto* la elección de algunos aspectos de intensión del término francés a expensas de otros. Simultáneamente, esa elección introduce asociaciones intensionales que son características del castellano, pero ajenas a la obra que se está traduciendo" (Kuhn 2002, p. 67).

En resumen, la Nueva Filosofía de la Ciencia debía ofrecer un modelo que superase las deficiencias de los sistemas formales o simbólicos a la hora de caracterizar el lenguaje (y pensamiento) humano y, por ende, el lenguaje de las teorías científicas, y sus procesos perceptivos y cognitivos subyacentes. El modelo de Kuhn se ha convertido sin duda en el mejor representante de esta nueva tradición, de modo que dedicaremos las próximas páginas a exponer su modelo, así como las soluciones que ofrece a las cuestiones planteadas en el campo específico de la filosofía de la ciencia, y a las implicaciones que este nuevo modelo tiene para la imagen de la ciencia.

3.2. KUHN Y LA NUEVA FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

Kuhn desarrolló su modelo filosófico de la ciencia en su reconocida obra titulada *La Estructura de las Revoluciones Científicas* (Kuhn 1971). El concepto que sirve como eje conceptual en esta obra es el concepto de paradigma. Kuhn argumenta en su obra que la actividad científica no puede comprenderse a partir del análisis lógico de enunciados teóricos y la correspondencia de los mismos con términos teóricos. Más allá de esta dicotomía entre teórico y observacional, Kuhn pone de manifiesto que las ciencias que han alcanzado su madurez se diferencian de las ciencias enfrascadas en debates metodológicos y metafísicos en torno a cuáles deben ser los fundamentos de la disciplina en que las primeras trabajan bajo el amparo de un paradigma. Kuhn define los paradigmas como realizaciones científicas universalmente reconocidas que proporcionan problemas y soluciones a una comunidad científica en un espacio y tiempo determinados (Kuhn 1971, p. 13).

Esta mayor atención al contexto determinado donde se desarrollaba un paradigma implica tener en cuenta aspectos históricos en el estudio filosófico de la ciencia. Este sería unos de los aspectos más destacables de la Nueva Filosofía de la Ciencia, en contraposición a la Concepción Heredada, y permitiría centrar el análisis no sólo en la justificación de las teorías científicas, sino también en el contexto de descubrimiento, utilizando la terminología de Reichenbach.

Como uno de sus ejemplos, Kuhn utiliza la explicación de Franklin mediante la teoría del fluido eléctrico del fenómeno de la botella de Leyden. Para Kuhn, la explicación de Franklin se convirtió en un paradigma en el estudio de la electricidad, en el sentido en que sugería qué experimentos valía la pena llevar a cabo y cuáles no (Kuhn 1971, p. 44).

Por lo tanto, la primera aproximación que podríamos dar del concepto de paradigma es que ofrece un conjunto de creencias y valores a la comunidad científica, esto es, les dota de un sentido común. En este sentido, un paradigma no rige tanto un asunto o tema de investigación, como un grupo de practicantes de la comunidad científica (Kuhn 1971, pp. 33-50).

Bajo el paraguas de este sentido común, la comunidad científica puede embarcarse en la labor de solventar los problemas que su paradigma sitúa en primer plano con el tipo de soluciones que su paradigma asume como aceptables o correctas. De este modo, el paradigma se convierte en el patrón o modelo del resto de realizaciones posteriores, que se enmarcan en lo que Kuhn denomina “ciencia normal”. Una vez se asienta un paradigma, se convierte en una promesa de éxito. La ciencia normal consiste precisamente en la realización de esa promesa, mediante la ampliación de los hechos considerados como especialmente relevantes o significativos por parte del paradigma (Kuhn 1971, p. 33).

Los paradigmas son, por tanto, como plantillas, modelos o patrones conceptuales que suponen una con-figuración del mundo (o de algunos aspectos del mismo). A su vez, la actividad científica, propiamente hablando, es aquella que genera y se somete a un paradigma determinado, realizando una actividad denominada por Kuhn ciencia normal. La ciencia normal,

a su vez, se caracteriza por la realización del paradigma al que se adscribe, de tal modo que sigue “fiel” en todo momento al paradigma en cuestión.

Antes de intentar precisar el concepto de paradigma desde un punto de vista filosófico y cognitivo, veamos cómo responde a las tres críticas fundamentales que hemos hecho anteriormente a los presupuestos filosóficos y cognitivos de la Concepción Heredada.

En primer lugar, vamos a analizar cómo el modelo de Kuhn asimila la crítica del holismo del significado, según la cual la interpretación de una parte de un lenguaje o teoría depende de la interpretación del mundo de todo el sistema lingüístico o teórico en cuestión. Desde el punto de vista de la filosofía de la ciencia de Kuhn, la teoría y la observación venían precedidas por un paradigma, esto es, un modelo o patrón parcialmente inarticulado que ofrecía una interpretación global del mundo, o de alguno de sus dominios. Por lo tanto, la actividad científica presuponía este sentido común o interpretación global de ciertos aspectos del mundo, lo que impedía su formalización en sistemas axiomáticos (donde se aíslan ciertos enunciados teóricos del resto de enunciados del lenguaje) y se presupone una barrera radical entre términos teóricos y observacionales. El propio Kuhn desarrolla en su obra el holismo del significado presupuesto en su noción de paradigma.

Kuhn utiliza el ejemplo de la astronomía para ilustrar este punto. Para Kuhn, siguiendo la tesis del holismo del significado, los científicos, en tanto que seres humanos que comparten unas estructuras cognitivas con los profanos, no aprenden a ver el mundo gradualmente, concepto por concepto. Por esto, los seguidores de Copérnico que no conceptualizaban el Sol como un ‘planeta’, no sólo estaban definiendo el término planeta o refiriéndose al Sol, sino que estaban cambiando radicalmente este concepto para poder continuar haciendo distinciones útiles, según las cuales todos los cuerpos celestes estaban siendo vistos de un modo distinto al anterior.

Del mismo modo, ver oxígeno en lugar de aire desflogistizado (en el caso de la química), o un condensador en lugar de la botella de Leyden o el péndulo en lugar de una caída forzada (en el campo de la física), era sólo una parte de un cambio global en la red de significados de la comunidad científica y, por tanto, de su visión del mundo. Los paradigmas, por tanto, determinan grandes cambios de la experiencia (Kuhn 1971, pp. 201-202).

Como vemos en la cita anterior, la presunción de un sentido común o red holista de significados también implica un cambio repentino y global de visión del mundo, en consonancia con las tesis de la Gestalt en psicología de la percepción y con las tesis de la carga teórica de la observación mencionadas anteriormente. La existencia de un paradigma implicaba la percepción organizada de los aspectos del mundo relacionados con la actividad de la comunidad científica en cuestión.

El tercer tema que nos falta es el de relacionar el modelo de la ciencia de Kuhn con el problema de la traducción planteado en el contexto de la visión simbólica y formal de la cognición y la teorización científica. Para abordar esta cuestión, hay que introducir el concepto de revolución científica en Kuhn. Como hemos visto hasta ahora, un paradigma es un patrón o configuración global de significado que permite iniciar en la comunidad científica una fase de

ciencia normal. Ésta se caracteriza por la resolución de enigmas, aceptando los criterios conceptuales, metodológicos y axiológicos del paradigma de referencia. El problema fundamental de los paradigmas es que éstos nunca apresan todos los aspectos del mundo que prometían, de modo que comienzan a surgir anomalías en el proceso de ciencia normal. Cuando las anomalías comienzan a crecer el paradigma vigente entra en crisis. Esta situación sólo se resuelve con la emergencia de un nuevo paradigma o configuración global del mundo, bajo el cual trabajar de nuevo, con nuevos criterios conceptuales, metodológicos y axiológicos (Kuhn 1971, pp. 128-148).

Lo más significativo para nuestro análisis es que un cambio de paradigma implica un cambio del significado global del mundo, así como un cambio de organización perceptiva del mismo. Ya que la interpretación del mundo cambia radicalmente, y un paradigma determina el sentido común de la comunidad científica, hay que concluir que científicos que trabajan en paradigmas diferentes viven en mundos diferentes (Kuhn 1971, p. 176).

Kuhn utiliza el término inconmensurabilidad para definir esta relación de ausencia de criterios comunes entre diferentes paradigmas. Si cada paradigma implica un sentido común y un conjunto de criterios conceptuales, metodológicos y axiológicos distintos, no puede hallarse un lenguaje analítico-formal y un conjunto de términos teóricos "neutros" o "dados" a partir de la experiencia sensorial inmediata, al margen del horizonte de significado del propio paradigma. Los científicos que trabajan bajo paradigmas distintos encontrarán, pues, que tienen entre sí conflictos irresolubles en cuanto a su percepción y concepción de la actividad científica.

La inconmensurabilidad, tal y como es utilizada por Kuhn en su *Estructura*, hace referencia a los desacuerdos de dos comunidades científicas que trabajan bajo paradigmas distintos, en diferentes sentidos. En primer lugar, en lo que consideran la lista de problemas a resolver. Por otro lado, en lo que respecta a las normas o definiciones de lo que es un problema y de lo que es una solución satisfactoria. Sin embargo, el sentido que más nos interesa es el que se refiere al malentendido entre las dos comunidades en la medida en que, a pesar de utilizar términos del mismo lenguaje, en realidad éstos se utilizan amparados en redes semánticas o conceptuales distintas, que no pueden solaparse entre sí. El no solapamiento entre dos redes semánticas hace que estas dos comunidades científicas se comporten de un modo equivalente a dos hablantes de lenguas distintas, que, bajo estructuras lingüísticas diferentes, viven en mundos diferentes (Kuhn 1971, pp. 232-233).

Una de las expresiones más claras de la inconmensurabilidad es precisamente la imposibilidad de traducir una teoría científica a otra, bajo un lenguaje formal y observacional común. El ejemplo utilizado por Kuhn que mejor refleja este punto es la reducción de la teoría newtoniana como subconjunto de la einsteniana. A pesar de que la versión actual es que puede comprenderse la mecánica newtoniana como un caso de la einsteniana, atendiendo a las variables cuantitativas y a los resultados matemáticos a partir de las ecuaciones, asumir que la mecánica newtoniana es un caso especial de la teoría de Einstein implica reinterpretar de una forma holista el significado de la primera para adaptarla a la segunda, un vez ésta ya ha tenido lugar. Esto es, la reducción de una teoría a la otra sólo puede concebirse una vez nos

situamos en el nuevo paradigma, u horizonte de sentido común de la mecánica einsteniana (Kuhn 1971, pp. 163-164).

La conclusión de todo esto es que, ya se trate de dos idiomas o dos teorías, éstas implican dos estructuras conceptuales distintas entre sí y, por tanto, no pueden solaparse la una a la otra. Esto es, no hay ningún nivel elemental de correspondencia entre los conceptos de una estructura y la otra, ya que, al ser las estructuras distintas, y depender del significado de cada concepto de la estructura global, cada estructura impondrá definiciones distintas para cada concepto. Esto implica que estos idiomas o teorías no pueden traducirse entre sí de forma literal y que, por tanto, son inconmensurables.

En síntesis, los paradigmas, entendidos como redes de significación, se sitúan en la base de la estructuración del pensamiento y de las representaciones de determinados aspectos del mundo. De este modo, deja de existir un lenguaje formal o sintáctico, o un conjunto de elementos observacionales, que permitan establecer un horizonte desde el que comparar las teorías científicas entre sí y contrastarlas con las observaciones de la realidad. Más bien, los paradigmas se convierten en el horizonte desde el cual establecer cualquier criterio de lo que es un argumento válido, o una observación fiable. Esta solución planteada por Kuhn permite explicar por qué la primera generación en filosofía de la ciencia se había encontrado con los problemas mencionados a la hora de formalizar las teorías científicas y de desligar el lenguaje observacional de cualquier compromiso teórico. A su vez, la visión kuhniana de la ciencia tiene un conjunto de implicaciones epistémicas relacionadas con la generación de conocimiento de esta actividad humana que conducen a un pesimismo epistémico muy diferente a las expectativas de la Concepción Heredada. En el siguiente subapartado desarrollamos algunas de estas implicaciones relevantes para nuestra línea argumentativa.

3.2.1. IMPLICACIONES DE LA NUEVA FILOSOFÍA DE LA CIENCIA: EL PESIMISMO EPISTÉMICO

Después del análisis del modelo filosófico elaborado por Kuhn, es hora de apuntar las implicaciones que este modelo, y la Nueva Filosofía de la Ciencia que inspiró, tienen para la imagen de la ciencia. Veremos que la diferencia esencial con respecto al modelo anterior en este punto es que, mientras la imagen de la ciencia derivada de la Concepción Heredada apunta a un optimismo en cuanto al alcance epistémico de la misma, en el caso de la filosofía de la ciencia encabezada por Kuhn, la imagen de la ciencia derivada se caracteriza por un notable pesimismo epistemológico y por la renuncia a las nociones de verdad y objetividad en el estudio filosófico de la actividad científica.

En primer lugar, vimos que el empirismo lógico presuponía que la filosofía de la ciencia constituía un verdadero “Tribunal de la Razón”, mientras que la actividad científica ayudaba a discernir qué teorías que pasaban la prueba del análisis filosófico eran verdaderas y cuáles falsas. Así pues, hallamos un doble nivel de análisis donde queda retratado el optimismo epistémico recién mencionado. Por un lado, el análisis lógico-formal permite desmarcar los enunciados teóricos o con sentido de los enunciados meramente expresivos, metafísicos o sin

sentido, esto es, que no pueden corresponderse con ningún conjunto de hechos del mundo. Por otro lado, dentro del conjunto de enunciados teóricos, la ciencia, mediante actividades de observación y experimentación, debe discernir el valor de verdad de cada uno de ellos, hallando las reglas de correspondencia entre los términos teóricos y los observacionales. En resumen, el optimismo epistémico del empirismo lógico se ampara en las distinciones entre juicios analíticos y sintéticos, por un lado, y términos teóricos y observacionales, por el otro.

Pues bien, la filosofía de la ciencia kuhniana, respaldada por las tesis del holismo del significado y de la carga teórica de la observación, destierra ambas distinciones. En consecuencia, anula la posibilidad de hallar un lenguaje formal que sirva como tribunal de la razón, y también imposibilita la tarea de establecer correspondencias entre diferentes términos teóricos y unos términos observacionales "neutros" o "dados". No hay nada, ni lenguaje analítico ni lenguaje observacional, que quede fuera del sentido común, o paradigma, compartido por una comunidad científica en un espacio y tiempo determinados. El paradigma es el "*a priori*" a partir del cual se dota de significado a todo el sistema de creencias, valores y métodos válidos aceptados por la comunidad, de manera que científicos amparados por paradigmas diferentes viven en mundos diferentes (Kuhn 1989, 2002). La filosofía de la ciencia, entendida como análisis lógico, y la actividad científica, entendida como verificación de enunciados teóricos, dejan de tener su estatus privilegiado, al considerar que las bases de sus tareas eran erróneas. La inexistencia de un tribunal neutro de la razón y la verdad obligan a concluir que las controversias científicas no pueden resolverse mediante pruebas o argumentos definitivos o ajenos a un paradigma determinado:

"La competencia entre paradigmas no es el tipo de batalla que pueda resolverse por medio de pruebas" (Kuhn 1971, p. 230).

La filosofía y la ciencia dejan de este modo de tener cualquier estatus privilegiado, así que se elimina la posibilidad de establecer cualquier criterio de demarcación entre estas actividades y otro tipo de controversias como las que se encuentran, por ejemplo, en el ámbito político, reduciendo así la ciencia a materia de persuasión, en la que cada cual argumenta desde su propia posición e intereses previos, y todo argumento se convierte, por tanto, en circular (Kuhn 1971, pp. 151-152).

Autores como Feyerabend han continuado esta línea encabezada por Kuhn, llegando a asumir la inexistencia de cualquier metodología firme o estable en la actividad científica a lo largo de su historia (Feyerabend 1989).

La influencia de Kuhn se hizo notar más allá de este autor, dando lugar a toda una corriente de pensamiento que ponía la noción de inconmensurabilidad como prueba definitiva de la ausencia de demarcación entre ciencia y retórica. Desde diferentes ámbitos de la filosofía y las ciencias sociales, "el problema epistemológico" se convirtió en algo dado por sentado, que parecía llevar como condición aparejada el "todo vale", y la "inconmensurabilidad interparadigmática" o incompatibilidad entre teorías como una de los rasgos definitorios de la ciencia y de la comunicación humana (Ovejero 1987, p. 82).

Todo esto nos conduce a la conclusión de que la Nueva Filosofía de la Ciencia conlleva una imagen de la ciencia pesimista desde el punto de vista epistemológico, ya que anula toda posibilidad a la actividad científica de alcanzar cualquier tipo de objetividad. Las comunidades científicas viven encerradas en su propio mundo, determinado por su paradigma, sin posibilidad de acceder a un horizonte de sentido común, compartido por la comunidad científica en su globalidad y extensible a toda la especie humana. Kuhn destaca al final de su obra la falta de necesidad de recurrir a términos como el de verdad o de 'lo real' para describir la actividad científica, aceptando que su enfoque podría interpretarse como un relativismo. Para Kuhn, esto no supondría ninguna cosa esencial a la hora de explicar la naturaleza y el desarrollo de las ciencias (Kuhn 1971, pp. 263, 314-315).

La circularidad en la que incurre la actividad científica según la filosofía de la ciencia kuhniana, y la no necesidad de apelar a una verdad o realidad fuera de un paradigma específico, implica que las controversias científicas no se resuelven mediante criterios "internos", racionales o experimentales, sino que son los aspectos externos (sociales, institucionales), los que, al menos en gran medida, acaban decantando la balanza por un paradigma en situaciones de crisis y de controversia interparadigmática (Kuhn 1971, p. 16-17) Los intereses sociales y particulares de los científicos y la dimensión psicológica pasional o irracional se convertían en los factores explicativos de fondo, a menudo enmascarados por supuestos racionales que, a la práctica, poca incidencia tenían, y podían tener, a la hora de resolver las controversias científicas (Solís 1994, p. 43).

La filosofía de la ciencia derivada de las tesis de Kuhn, Feyerabend y otros autores acabó socavando definitivamente el optimismo epistémico del empirismo lógico, al reducir completamente la ciencia a ideología, a convenciones y a luchas de intereses. Los estudios de la ciencia, tecnología y sociedad (CTS) y el "*Strong Program*" en filosofía de la ciencia dieron los últimos pasos en este sentido.

En primer lugar, el conocimiento sólo se diferenciaba para esta corriente de la mera creencia en la medida en que el primero era compartido por la sociedad, mientras que la segunda era individual. Es decir, la convención era la única fuerza en la que se apoyaba lo que se consideraba verdadero o falso en una sociedad en un contexto y época determinados (Bloor 1979, p. 5).

La teoría "vencedora" no era la más verdadera, sino la más poderosa, persuasiva o adecuada al contexto sociohistórico. Muchos autores, como Pickering o Collins, realizaron estudios empíricos en esta línea de pensamiento en torno a casos históricos de controversia científica. El "*Strong Program*" aplica esta visión constructivista y sociologista incluso a las ciencias naturales o formales, como es el caso de la lógica, que para la filosofía analítica era el tribunal universal de la racionalidad científica. Para esta corriente de pensamiento, la lógica también se reduce a un conjunto de convenciones poderosas institucionalizadas, que han pasado a considerarse por el peso de la tradición y el poder como reglas de razonamiento irrefutables (Barnes y Bloor 1982). Por extensión, podía explicarse este mismo razonamiento al caso de la matemática (Ferreirós 2005, pp. 55-64).

De este modo, la Nueva Filosofía de la Ciencia comenzó destacando el holismo del significado dentro de los paradigmas compartidos por las comunidades científicas en espacios y tiempos concretos, así como la carga teórica de la observación y la inconmensurabilidad interparadigmática, para conducir hacia una filosofía de la ciencia centrada mayor o exclusivamente en los intereses como factores explicativos de la actividad científica y de la resolución de controversias, abandonando por completo cualquier apelación a las nociones de verdad, racionalidad u objetividad.

Como veremos más adelante, este pesimismo epistémico parece chocar con muchas de nuestras intuiciones de sentido común con respecto a la ciencia, sostenidas tanto por la sociedad civil como por la misma comunidad científica, ya que la ciencia se concibe como una actividad hasta cierto punto objetiva, y que guarda una cierta unidad interna a pesar de la multiplicidad de disciplinas que la componen (Giere 1990). En todo caso, las tesis de la Nueva Filosofía de la Ciencia y la multiplicidad de estudios de caso que ponen de manifiesto la importancia de tener en cuenta algunas de sus tesis hacen que un modelo actual como el que queremos proponer en este trabajo no pueda pasar por alto muchas de sus críticas a la Concepción Heredada, como su uso ingenuo de nociones como las de verdad o racionalidad. Antes de pasar a este punto, veamos algunos de los problemas de Kuhn a la hora de precisar los conceptos más fundamentales de su modelo, y también los posibles recursos que podemos utilizar del campo de las ciencias cognitivas para clarificarlos, pudiendo así analizar su plausibilidad, o su adecuación empírica.

3.2.2. PROBLEMAS DE PRECISIÓN DEL MODELO KUHNIANO Y BASES COGNITIVAS

El primer concepto problemático en la obra de Kuhn es el concepto de paradigma. A pesar de que se detectaron hasta 22 usos del término diferentes en la obra de Kuhn, y que actualmente se considera que paradigma puede entenderse como “matrices disciplinares”, “generalizaciones simbólicas”, “modelos”, “valores” o “ejemplares” compartidos”, Kuhn asume el problema directamente, pero reduciendo la problemática a solamente dos usos distintos del término en su *Estructura*.

Por una parte, Kuhn define la noción de paradigma como una constelación o red de creencias, valores o técnicas que ayudan a clasificar y conceptualizar los diferentes aspectos de los fenómenos de estudio para la comunidad científica. Por otra parte, denota un elemento de estas constelaciones, que constituye una solución a un enigma concreto que se utiliza como modelo o ejemplo de lo que es un problema y una solución prototípicos para dicha comunidad, pudiendo así remplazar las categorizaciones o reglas explícitas como base para la solución de enigmas en la fase de ciencia normal (Kuhn 1971, p. 269).

Como veremos en el siguiente apartado, existen diferentes implicaciones en cuanto a la cognición humana dependiendo de en qué sentido entendemos la noción de paradigma de Kuhn, ya sea como red conceptual o semántica de significados, o como ejemplares o modelos

que sirven de patrones o prototipos en la tarea de solución de enigmas en el periodo de ciencia normal.

Veamos a continuación qué sucede con respecto al concepto de inconmensurabilidad, también utilizado por Kuhn de una forma polisémica. Kuhn utiliza este término de tres maneras distintas en su obra. En primer lugar, argumenta que la verificación de teorías en términos puramente observacionales es imposible, por los argumentos previamente expuestos. En segundo lugar, se refiere a la inconmensurabilidad de las normas, en el sentido en que cada paradigma tiene una lista de problemas que considera relevantes, así como unos criterios para determinar qué soluciones serían las correctas. Sin embargo, es en el tercer y más importante sentido en el que Kuhn parece fundamentar su argumentación principal. El problema es que el mismo Kuhn no precisa de un modo satisfactorio este tercer uso del concepto:

"Estos ejemplos señalan hacia el tercero y más fundamental de los aspectos de la inconmensurabilidad de los paradigmas en competencia. En un sentido que soy incapaz de explicar de manera más completa, quienes practican los paradigmas en competencia practican sus profesiones en mundos diferentes" (Kuhn 1971, pp. 232-233).

Los dos siguientes apartados están dedicados a explorar dos modelos cognitivos que tuvieron lugar en ciencias cognitivas, en la segunda generación que se inicia con el giro semántico y culmina con los modelos conexionistas. Estos modelos nos permitirán poner de manifiesto los paralelismos entre la filosofía de la ciencia kuhniana y los presupuestos de la cognición asumidos por los programadores de esta segunda generación en ciencias cognitivas, así como explicitar los presupuestos subyacentes al modelo kuhniano en torno a la cognición. Algunos de los programadores más relevantes en esta segunda generación de ciencias cognitivas asumen en sus artículos que las nociones de paradigma e inconmensurabilidad de Kuhn han sido una fuente de inspiración fundamental para el desarrollo de sus modelos cognitivos subyacentes al desarrollo de sus programas y simulaciones, así como el reto de ofrecer mediante estos modelos unas definiciones más refinadas y precisas de los conceptos fundamentales utilizados por Kuhn (Minsky 1974; Winograd 1981; Churchland 1992).

Además de mencionar algunos de los problemas que encontramos con estos modelos, este análisis también nos permitirá poner de manifiesto nuevas propiedades de la cognición que deberán ser tenidos en cuenta en nuestra contribución a una teoría unificada e integrada de la cognición humana.

3.3. COGNICIÓN, REDES SEMÁNTICAS Y REDES NEURONALES

3.3.1. *PARADIGMAS, SEMÁNTICA Y SISTEMAS EXPERTOS*

En primer lugar vamos a ocuparnos de la primera de las definiciones que Kuhn da del término 'paradigma'. En artículos posteriores a la *Estructura*, se decanta por esta definición de paradigma, e insiste en que una teoría científica consiste esencialmente en una red conceptual que permite definir cada uno de los conceptos que la componen según las relaciones que guardan con el resto de conceptos de la estructura (Kuhn 1989, 2002).

De este modo, un paradigma constituye la red semántica dentro de un lenguaje determinado. Por otro lado, la inconmensurabilidad implica que dos lenguajes con redes semánticas o estructuras conceptuales diferentes no pueden reducirse a un lenguaje o conjunto de significados comunes. Más bien, la estructura conceptual o red semántica de cada lenguaje implica unos compromisos ontológicos diferentes: "Lenguajes diferentes imponen al mundo estructuras diferentes" (Kuhn 2002, pp. 23-45). Kuhn explica esto mediante la noción de no solapamiento, según la cual dos sistemas conceptuales distintos constituyen dos redes de significados distintos que no pueden solaparse entre sí.

Partiendo de esta definición de paradigma de Kuhn, y de la necesidad de considerar la semántica subyacente a las teorías científicas, podemos establecer un puente entre esta definición de paradigma y los programas de simulación característicos del denominado giro semántico en ciencias cognitivas. Los primeros programas que fueron en esta dirección fueron los denominados "sistemas expertos" (Gardner 2000). Veamos un par de ejemplos de programas de este tipo.

El primero de ellos viene de la mano de Feigenbaum, quien decidió analizar los datos procedentes de un espectrógrafo de masas (Gardner 2000, p. 176). Tras este análisis, se llevó a cabo la generación del programa de ordenador DENDRAL. Este programa debía averiguar qué compuesto orgánico se estaba analizando en cada caso, a partir de una gran cantidad de datos provenientes del espectrógrafo. El programa procesaba los datos, y formulaba algunas hipótesis que posteriormente pasaba a verificar mediante una serie de predicciones. Los datos de salida emitidos por la computadora consistían en una lista de posibles compuestos moleculares, según la probabilidad de que fueran los que se buscaban en cada caso.

La gran diferencia con respecto a los modelos anteriores, como los de Newell y Simon, destinados a resolver problemas de carácter formal, es que DENDRAL hacía un uso considerable del saber acumulado acerca de sustancias químicas, basándose en la premisa de que los especialistas en este ámbito poseen un amplio conocimiento, de modo que un programa que pudiera considerarse inteligente en esta materia debía poseer conocimientos similares almacenados en su memoria.

Los sistemas expertos partían de un modelo cognitivo distinto a programas como el de Colby mencionado anteriormente, en la medida en que éstos se basaban en la acumulación de conocimientos semánticamente ricos de los dominios de los que trataban. A pesar de que seguía habiendo una diferencia notable con respecto a la cognición humana, en tanto que los primeros se limitaban al conocimiento de algún dominio semántico determinado, y la cognición humana maneja dominios semánticos muy diversos según el contexto, este nuevo estilo de programación concedía a la semántica el lugar privilegiado que los críticos de los programas anteriores, y el propio Kuhn, otorgaban a ésta como motor de la cognición humana en general y de las teorías científicas en particular.

El segundo ejemplo proviene del ámbito de la física. Veamos el siguiente problema prototípico de mecánica:

La base de una escalera de mano está apoyada en una pared vertical y sobre un piso horizontal. La cima de la escalera está sujeta a la pared con una cuerda horizontal de 30 pies de largo. La escalera mide 50 pies, pesa 100 libras con su centro de gravedad a 20 pies de la base, y un hombre que pesa 150 libras está a 10 pies de la cima. Determine la tensión de la cuerda.

La persona que se ponga a resolver este problema debe poseer una red de significados adecuada. Por ejemplo, tiene que saber lo que es un coeficiente de fricción, que la escalera puede tomarse como una palanca con su punto de apoyo y a la que se le aplican fuerzas, que el hombre puede considerarse como una masa o como un punto de apoyo, entre otras cosas. Novak diseñó el programa ISAAC capaz de comprender este problema y otros problemas de mecánica (estática). El secreto de ISAAC es que tiene almacenada en su memoria una gran cantidad de información semántica sobre palancas, planos inclinados, masas, etc.

Además del análisis sintáctico, ISAAC posee una serie de esquemas que le permiten guiar la búsqueda e interpretación de los datos. Por ejemplo, una escalera debe reconocerse como una palanca. Una vez se aplica el esquema general de la palanca, deben rellenarse las ranuras del esquema general con los datos específicos solicitados por el esquema en cuestión (longitud, peso, centro de gravedad, ubicación del punto de apoyo y las demás fuerzas que le afectan, etc.). A partir de los esquemas individuales, ISAAC genera un esquema agregado a partir del cual construirá las ecuaciones relevantes para el problema, realizando los cálculos matemáticos pertinentes.

La idea de fondo de estos programas era que la comprensión de determinados problemas científicos pasaba por la posesión de un conocimiento semántico rico en ciertos ámbitos de conocimiento. Sin estos esquemas previos a la “observación” de datos, el puente entre la interpretación del enunciado de un problema científico y la manipulación de determinadas estructuras formales se convertía en algo inviable.

Esta idea de los sistemas expertos, poseedores de esquemas relacionados con dominios semánticamente ricos, fue más allá de los programas de resolución de problemas en ciencias experimentales, y se convirtió en el modelo a partir del cual diseñar programas de ordenador que simularan la organización humana del conocimiento, así como la comprensión del lenguaje o la interpretación de determinados estímulos visuales para configurar una interpretación tridimensional del entorno. Esta extensión del modelo se encuentra ya en el propio Kuhn, quien en su obra afirma explícitamente que su modelo acerca de la actividad científica tiene una vocación de generalizarse a todos los procesos cognitivos humanos (Kuhn 1971).

Uno de los ejemplos donde se aplicaron programas de simulación que priorizaban la importancia de la semántica, fuera de la ciencia y de dominios de conocimiento de expertos como el de la comprensión del lenguaje es el SHDRLU de Winograd. Este programa, destinado a comprender oraciones del lenguaje natural y de realizar acciones según las órdenes recibidas en torno a un mundo de bloques, poseía una gran información de este “micromundo”, así como

de los posibles estados mentales del interlocutor en relación al mismo. El conocimiento semántico estaba cuidado hasta el punto de que el programa podía realizar interpretaciones correctas de pronombres como “lo” siempre y cuando estuviesen directamente relacionados con la red semántica perteneciente al mundo de bloques y las posibles acciones que se pudieran realizar dentro del mismo (Gardner 2000, pp. 178ss).

En este tipo de programas, se partía de la base de que para superar las limitaciones de los programas anteriores basados en procesamiento formal o sintáctico, los programas de inteligencia artificial debían poseer una red semántica de significados relacionados con micromundos determinados, de los cuales podían considerarse expertos. Sólo sobre la base de esta red de conocimiento semántico estos programas podían generar conductas consideradas inteligentes en estos ámbitos. Los sistemas expertos y los programas basados en redes semánticas implicaban que la cognición humana debía consistir en redes semánticas organizadas o esquemas relacionados con diferentes dominios o micromundos que les permitían dotarlos de significado. La cognición dejaba, pues, de considerarse como un lenguaje del pensamiento que seguía determinadas reglas sintácticas universales, para convertirse en algo que dependía de redes semánticas compartidas por un determinado grupo de especialistas en algún dominio específico o hablantes de algún idioma particular.

El concepto de micromundo, que caracteriza esta etapa de la simulación de la inteligencia, parte de la idea de que cada área de discurso o de conocimiento puede ser analizada independientemente, aislada del resto de actividades humanas (Dreyfus 1981, p. 147). Este argumento es muy similar al de Kuhn cuando afirma que los científicos viven en mundos diferentes en su ámbito de trabajo en el laboratorio, al hallarse en paradigmas diferentes en esos ámbitos, a pesar de que eso no afecte al resto de dominios de su vida cotidiana. Investigadores como Minsky o Churchland asumirán de un modo explícito esta influencia de la filosofía de la ciencia de Kuhn, como veremos a continuación.

A parte de la comprensión del lenguaje, este tipo de programas basados en la introducción de redes semánticas de información se aplicaron al ámbito de la percepción. A diferencia de los programas anteriores, como el de Marr, que construían un modelo tridimensional a través del procesamiento de unidades más elementales en un modelo bidimensional, estos nuevos programas perceptivos aplicaban la información almacenada en su memoria acerca de la geometría proyectiva para interpretar los datos a la luz del conocimiento previamente almacenado. Uno de los programadores más relevantes a este respecto es Roberts, quien argumenta que la percepción es, indisociablemente, interpretación de aquello que se percibe. Roberts entiende el proceso de la interpretación como la relación entre el fenómeno interpretado y el sistema conceptual con el que está dotado el programa. Por tanto, para que el conocimiento sea útil, la red semántica debe estar estructurada de forma que el fenómeno que se percibe pueda interpretarse mediante la proyección de los sistemas conceptuales adecuados, que deben estar en el programa de antemano (Boden 1984, p. 240).

Las palabras de Roberts, al asumir que la percepción visual implica una interpretación que pasa por la posesión de esquemas semánticamente ricos, van en consonancia con la tesis

de la carga teórica de Hanson y Kuhn, según la cual la interpretación de los estímulos visuales se realiza sobre la base de patrones organizativos globales conceptualmente estructurados, que dotan de significado a la imagen visual.

Las redes semánticas podían servir como base cognitiva para definir con mayor precisión los paradigmas kuhnianos, entendidos como redes de significados que permitían organizar y dar sentido a la experiencia y la observación. En este sentido, la carga teórica vendría determinada por la red semántica de cada comunidad científica y su interpretación del mundo. Como las redes semánticas son diferentes según el lenguaje del que se trate, dos paradigmas diferentes, con redes semánticas diferentes, implicarán una red de significados distintas y, por tanto, estructuraciones del mundo distintas. A pesar de que este énfasis en la semántica y la estructuración de significados a partir de la estructura conceptual de cada lenguaje supone una ruptura con respecto a la concepción sintáctica o formal de las teorías, sigue sosteniendo que las teorías pueden representarse mediante estructuras simbólicas. En el caso de las redes semánticas, las unidades elementales serían los conceptos, y las relaciones entre conceptos corresponderían a las definiciones de los mismos dentro de la estructura lingüística global. Uno de los problemas que presentaban este tipo de redes semánticas es que partían de una concepción de la categorización que, atendiendo a los resultados de algunos experimentos, difería del modo como los seres humanos categorizan los elementos de su entorno. En este sentido, los sistemas expertos y las redes semánticas no conseguían simular los procesos cognitivos tal y como tenían lugar en los seres humanos. De este y otros problemas surgió la necesidad de nuevos modelos cognitivos y nuevas estrategias de simulación del pensamiento, capaces de adecuarse a las características de la categorización humana.

3.3.2. PROTOTIPOS, ESQUEMAS Y CONEXIONES NEURONALES

La visión del lenguaje como estructura semántica que dota al mundo de interpretación y significado mantenía una visión de la categorización clásica, equivalente a la primera generación, a pesar de las diferencias que hemos visto entre ésta y el giro semántico. Esta perspectiva clásica de la categorización puede resumirse en los tres puntos siguientes (Gardner 2000, pp. 367-368):

1- Las categorías son arbitrarias. No hay nada en el mundo ni en nuestro sistema nervioso que determine de qué manera podemos recortar nuestras observaciones. Las culturas y lenguajes hacen esta tarea por nosotros. Los rubros pueden agruparse de cualquier cantidad de modos a fin de constituir categorías, y las personas pueden aprender a identificar o constituir esas categorías, definidas por sus respectivas culturas.

2- Las categorías poseen atributos definitorios o críticos. Todos los miembros de una categoría comparten estos atributos, ningún miembro de otra categoría los comparte, y no existe superposición alguna entre los miembros de una categoría y los que no lo son.

3- La intensión (o suma de atributos) de una categoría determina su extensión (la cantidad de objetos del mundo que la integran en calidad de miembros). Por lo tanto, no tiene ningún

sentido pensar que una categoría puede estar dotada de una estructura interna tal que algunos de sus ítems sobresalgan respecto de los demás como miembros “mejores”. Un triángulo es grande y rojo, o no lo es. Los límites son estrictos y no hay confusión posible.

Uno de los ejemplos paradigmáticos de programa de ordenador que simula la organización de la memoria humana a partir de redes semánticas, sobre la base de estos presupuestos en torno a la categorización humana, es el “Teachable-Language Comprehender” de Quillian (Best 2000, 184-192). El programa consiste en una red semántica para los animales. Esta red se compone de nodos que relacionan categorías de distintos niveles jerárquicos. A cada unidad se le asignan a su vez determinadas propiedades. Por ejemplo, a la categoría “animal” se le asignan las propiedades “tiene piel”, “puede moverse”, “come”, “respira”. Además, la categoría animal contiene las subcategorías “pájaro” y “pez”, entre otras, que poseen las propiedades “tiene alas, “puede volar” y “tiene plumas”, la primera, y “tiene aletas”, “puede nadar” y “tiene agallas”, la segunda.

Si al programa se le pregunta si un animal come, responderá que sí en virtud de la organización de la red semántica. Por otro lado, si se le pregunta si un pez come, también dirá que sí, ya que “comer” es una propiedad de “animal”, y según la red semántica, un pez es un animal. La verificación de algunas de las hipótesis de Quillian mediante experimentos de tiempos de respuesta en humanos aumentó la plausibilidad de estos programas como simuladores de la organización del conocimiento humano en conjuntos de redes semánticas. Esto motivó la generación de este tipo de redes semánticas en diferentes ámbitos para simular la organización de la memoria y el conocimiento humanos (Best 2000, pp. 184-206).

Este tipo de programas basados en la concepción clásica de la categorización parte de la base de que la memoria humana se organiza en torno a nodos conceptuales de distintos niveles de generalización. Cada nodo conceptual se define sobre la base de un conjunto cerrado de propiedades, que constituyen las condiciones necesarias y suficientes para definir dicho nodo conceptual. Por otro lado, los niveles jerárquicamente inferiores asumen las propiedades de los nodos conceptuales superiores que los incluyen. Como hemos visto, esta organización semántica se halla en la base del tipo de inferencias que estos programas pueden llevar a cabo, y del tiempo de respuesta en cada caso.

A pesar de la adecuación de estas redes semánticas a los resultados experimentales en lo que se refiere a los tiempos de respuesta, diversos estudios de la década de los 70, especialmente de Rosch, pusieron de manifiesto que las redes semánticas no son buenas candidatas para representar la organización del conocimiento humano y, por tanto, no podían ser la base de la noción de paradigma kuhniano, ya que la vocación de este concepto en Kuhn es precisamente la de explicar cómo funcionan los procesos cognitivos de los miembros de la comunidad científica y, por extensión, del ser humano en general.

El primero de estos estudios tiene que ver con la categorización de los colores en diferentes culturas. La idea era la de ver si las diferentes estructuraciones semánticas de los colores implicaban una percepción totalmente distinta de los mismos. A pesar de utilizar diferentes nomenclaturas, parecían existir errores muy similares de reconocimiento en

diferentes culturas. Estos resultados parecían arrojar dudas sobre la idea de que lenguajes con estructuras diferentes generan mundos diferentes, defendida por Kuhn.

Rosch, una de los principales responsables de estos estudios, llevó a cabo un análisis de la categorización de animales, entre otros dominios del saber. Basándose en los estudios realizados, Rosch llegó a la conclusión de que en las categorizaciones del lenguaje natural, las categorías se construyen en torno a un miembro central o prototipo. El prototipo constituye un miembro representativo de una clase determinada, que comparte con otros miembros de la misma categoría la mayoría de sus características y en cambio tiene muy pocas en común, con elementos pertenecientes a otras clases (si es que tiene alguna). Por ejemplo, un ruiseñor es un ave más prototípica que una gallina o un pingüino, y en consecuencia se la reconoce antes como tal y es menos probable equivocarse y encuadrarla como miembro de otra categoría animal. En otro orden de cosas, el automóvil de asiento delantero y trasero es más prototípico que una limusina. En síntesis, el reconocimiento o el recuerdo de estas formas se explica mejor presumiendo que los sujetos construyen prototipos, y no que buscan (o crean) una lista fija de características (Gardner 2000, pp. 342- 349).

Dicho en otros términos, los seres humanos estructuramos el mundo en torno a ciertos elementos prototípicos, clasificando el resto de elementos según el nivel de semejanza que guardan con el prototipo de la categoría. Esta nueva visión de la cognición humana encajaba mucho mejor con el otro uso que hace Kuhn del término paradigma, a saber, el de paradigma como modelo o ejemplar. Según esta visión, un paradigma es una solución prototípica a un problema prototípico. Este ejemplar sirve de modelo o patrón para el resto de soluciones a enigmas dentro del paradigma en periodos de ciencia normal. Así pues, las relaciones entre el paradigma como ejemplar y el resto de problemas y enigmas de la ciencia normal se basaban en relaciones de semejanza, y no en redes semánticas estructuradas cuyas categorías eran arbitrarias y estaban perfectamente delimitadas de antemano.

En el ámbito de la inteligencia artificial esta nueva visión de la categorización y de los paradigmas suponía un verdadero reto, ya que las relaciones de semejanza no eran algo fácil de representar mediante las estructuras simbólicas de los programas vigentes. Las estructuras sintácticas y semánticas pueden representarse mediante unidades simbólicas delimitadas, de manera que cada estructura simbólica representa alguna unidad elemental de la estructura o alguna operación que permite representar las relaciones entre los diferentes elementos de la estructura. Por el contrario, las relaciones de semejanza con algún prototipo o estereotipo no pueden reducirse a estructuras simbólicas delimitadas entre sí, ya que algo puede ser semejante a una cosa en algunos aspectos pero no en otros, y todo depende del marco representacional de fondo. Además, también puede haber diferentes grados de semejanza, a diferencia de las relaciones de identidad o pertenencia, que son de todo o nada.

Con tal de representar esta nueva arquitectura de la cognición, se comenzaron a proponer programas de ordenador basados en los conceptos de “frame” (Minsky 1974) o “scripts” (Schank 1981). La idea era la de almacenar en la memoria del programa determinadas estructuras de datos correspondientes a situaciones prototípicas de la vida cotidiana, como por

ejemplo ir a la fiesta de cumpleaños de un niño. Cada uno de estos "frames" o "scripts" consistía en estructuras de datos que contenían información prototípica sobre lo que sucedía en este tipo de situaciones. Veamos por ejemplo la definición que Minsky da del concepto de "frame" (Minsky 1974, pp. 111-112).

La idea fundamental es que el programa de ordenador debe seleccionar los "frames" adecuados en la medida en que tengan la mayor semejanza posible con los datos que el ordenador está recibiendo en cada caso. En definitiva, los "frames" se comportan como los prototipos de Rosch, ya que las relaciones entre éstos y la interpretación que hace el programa de los datos de entrada es una relación de semejanza y no de identidad o de inclusión categórica. Minsky explicita que sus "frames" se basan en este tipo de relaciones y que esto va más allá de los métodos de programación utilizados hasta la fecha:

"In the body of the paper I discuss different kinds of reasoning by analogy, and ways to impose stereotypes on reality and jump to conclusions based on partial-similarity matching. These are basically uncertain methods" (Minsky 1974, p. 113).

Los "frames" de Minsky pueden interpretarse perfectamente como los paradigmas kuhnianos entendidos como ejemplares, en la medida en que en ambos casos se trata de estereotipos que sirven de guía para interpretar otras situaciones más o menos similares con este prototipo. El mismo Minsky asume esta fuente de inspiración.

Más aún, es el mismo Kuhn quien asume en primer lugar que los paradigmas, entendidos como ejemplares concretos de problemas y soluciones prototípicos, se basaban en este tipo de relaciones de similaridad inespecíficas:

"La práctica de la ciencia normal depende de la habilidad, obtenida de los ejemplares, para agrupar objetos y situaciones en conjuntos similares, los que son primitivos en el sentido de que el agrupamiento es hecho sin haber respondido a la pregunta "¿similar con respecto a qué?" Un aspecto central de cualquier revolución es, entonces, aquello que cambia la similaridad de las relaciones" (Kuhn 1971, pp. 305-306).

El problema de los "frames" de Minsky o los "scripts" de Schank, de funcionamiento análogo, es que al implementarse en programas de ordenador, usaban lenguajes basados en la perspectiva simbólica, según la cual las estructuras de datos representaban estructuras de la realidad o el pensamiento. La simulación de los paradigmas kuhnianos como ejemplares que inspiraban el resto de enigmas de la ciencia normal al ser patrones o prototipos de los mismos sobre la base de determinadas relaciones de semejanza presentaba muchas dificultades, al no hallar una arquitectura cognitiva adecuada con la que realizar estas simulaciones.

Este modo de interpretar los paradigmas de Kuhn requería otro tipo de modelo cognitivo que permitiese explicar la arquitectura mental de los científicos y de los seres humanos a partir de relaciones de semejanza y de prototipos, más que de estructuras formales o semánticas con relaciones de pertenencia unívocas y explícitas entre sí. El paradigma conexionista o subsimbólico sería la alternativa al paradigma simbólico, ya que ofrecería una opción viable, capaz de explicar de un modo satisfactorio el papel que podían jugar los

prototipos o ejemplares en la cognición humana y, por inclusión, los paradigmas como ejemplares o prototipos de la comunidad científica en periodos de ciencia normal.

Las ciencias cognitivas iniciaron una transición desde el modelo simbólico tradicional a la simulación del funcionamiento del cerebro, para poder ofrecer un modelo satisfactorio de procesos cognitivos que implicaban prototipos, estereotipos, patrones, y relaciones de semejanza:

"The architecture that we are exploring is not one based on the von Neumann architecture of our current generation of computers but rather an architecture based on considerations of how brain themselves might function" (Rumelhart 1989, p. 206).

Al decir esto, Rumelhart se refiere a dos propiedades fundamentales del procesamiento de la información por parte del cerebro que lo diferencia de los sistemas físicos de símbolos. El procesamiento de la información es distribuido y en paralelo, mientras que el procesamiento computacional clásico es serial y local. Como hemos visto, las redes semánticas utilizan un símbolo para referirse a cada nodo conceptual. Por el contrario, en el cerebro cada concepto queda representado por un patrón de activación neuronal, y no por un único elemento.

La mente, más que funcionar mediante estructuras simbólicas o conceptuales, representa cada entidad significativa del entorno como un patrón neuronal determinado. Finalmente, la interacción de diversos patrones neuronales hace emerger un patrón de activación global. Este patrón de activación guarda relaciones de semejanza con patrones globales que tienden a darse juntos gracias a nuestro aprendizaje. De este modo, el reconocimiento de patrones se produce mediante la satisfacción de restricciones múltiples, y mediante relaciones de semejanza con respecto a determinados patrones de activación que, debido a nuestra experiencia y aprendizaje, constituyen ejemplares con los que comparar el resto de estímulos o entradas del sistema.

¿Cómo interpretar los "esquemas", "prototipos" o "ejemplares" desde la perspectiva conexionista? Los prototipos quedarían representados por patrones neuronales específicos. El cerebro, o los programas de ordenador basados en la metáfora del cerebro, comparaban el patrón de activación correspondiente con un posible miembro de una categoría (o alguna estructura determinada), y analizaban el nivel de semejanza entre este patrón de activación y el patrón de activación del prototipo, expresados numéricamente. Cuanto mayor era el nivel de semejanza, mayor era la probabilidad de pertenencia de este elemento a la categoría en cuestión. Éste es sólo un sencillo ejemplo del funcionamiento de un modelo conexionista inspirado en la metáfora del cerebro. Como vemos, esta arquitectura cognitiva sí permite realizar operaciones de reconocimiento de patrones y de relaciones de semejanza entre diferentes *inputs* y ciertos prototipos, esquemas o ejemplares.

El modelo conexionista se ajustaba perfectamente a la noción kuhniana de paradigma interpretada como ejemplar y no como red de significados. Kuhn relaciona explícitamente su modelo con las bases neuronales de la cognición humana. Al comparar científicos que trabajan en paradigmas diferentes afirma que:

“Los estímulos con los que tropiezan son los mismos; sin embargo, sus aparatos neurales están programados de manera diferente” (Kuhn 1971, p. 307).

Un paradigma sería, por tanto, un patrón de activación neuronal que se torna prototípico para una comunidad científica. Este patrón de activación constituye el prototipo de solución a un problema determinado. La ciencia normal consiste en solventar otros enigmas teniendo como referencia el patrón de activación prototípico del paradigma. De este modo, la ciencia normal funcionaría mediante el aprendizaje neuronal de los miembros de la comunidad científica. Ante un enigma determinado, los miembros de la comunidad científica intentan resolverlo. Cada solución posible se representa neuronalmente mediante un patrón de activación determinado. Después de un proceso de aprendizaje y de ensayo-error, la solución al enigma cuyo patrón de activación es lo más semejante posible al patrón neuronal que representa la solución prototípica del paradigma será seleccionada como la mejor opción.

Churchland es el filósofo que más explícita ha hecho esta relación entre el paradigma conexionista en ciencias cognitivas y los paradigmas kuhnianos en filosofía de la ciencia. Para Churchland, este modelo de la cognición nos ofrece una manera de explicar la noción de paradigma en el sentido de ejemplar, utilizado por el propio Kuhn, y de ahondar en sus presupuestos cognitivos. Como ya hemos apuntado, un paradigma es, desde este punto de vista, una aplicación prototípica de algún conjunto de recursos matemáticos, conceptuales e instrumentales, de la que se espera obtener resultados similares a la misma ante nuevos problemas. Ésta es precisamente la tarea de la ciencia normal. Desde este punto de vista, ser un científico consiste en dominar los detalles de estas aplicaciones prototípicas de estos recursos, más que aprender y conocer determinadas leyes científicas (Churchland 1992, p. 64).

De este modo, Churchland quiere superar la acusación que se le hizo a Kuhn por la vaguedad de su noción de paradigma y de las relaciones de semejanza entre éste y los enigmas tratados en la ciencia normal. Si partimos de la aproximación neurocomputacional o conexionista, podemos comprender la semejanza como patrones de activación cuyos valores numéricos resultantes, como producto de las relaciones de excitación e inhibición de los neurodos, son más próximos entre sí. Ya que las relaciones de semejanza se dan a un nivel neuronal, prelingüístico y preconsciente, un ser humano no puede articular verbalmente todos los criterios subyacentes a estas relaciones (Churchland 1992), tal y como indica Kuhn:

“La ciencia normal es una actividad altamente determinada, pero no necesita estar determinada enteramente por reglas. Ésta es la razón por la cual, al comienzo de este ensayo, presenté paradigmas compartidos, más que reglas, suposiciones, y puntos de vista compartidos, como fuente de coherencia para las tradiciones de la investigación normal. Las reglas, según sugiero, se derivan de los paradigmas; pero éstos pueden dirigir la investigación, incluso sin reglas” (Kuhn 1971, p. 79).

En segundo lugar, la carga teórica de la observación también se explicaría desde el modelo conexionista, en la medida en que cada entrada de información al sistema se interpretaba sobre la base de los patrones de activación prototípicos de sus redes neuronales, que dependían del paradigma en el que se encontrasen (Churchland 1992). Algo parecido

puede decirse acerca de la inconmensurabilidad, ya que patrones de activación diferentes y relaciones de semejanza diferentes sobre la base de prototipos o ejemplares distintos implicaba la imposibilidad de hallar unos referentes o criterios comunes de semejanza (Churchland 1992).

3.3.3. PROPIEDADES DE LA COGNICIÓN SEGÚN LA SEGUNDA GENERACIÓN

La primera generación en ciencias cognitivas y filosofía de la ciencia nos dejaba un legado que ayudó a destacar y analizar dos de los aspectos fundamentales de la cognición humana y de la práctica científica, a saber, el carácter representacional, estructurado y sistemático de las mismas. Sin embargo, apuntamos al final de la parte dedicada a esta corriente de pensamiento que sus explicaciones y modelos cognitivos fallaban a la hora de dar cuenta de otras características de la cognición y la ciencia.

En este apartado, hemos podido comprobar que toda consideración en torno a lo que puede observarse, y a lo que se consideran argumentos e inferencias de razonamiento válidos, dependen de unos criterios que vienen marcados por el "sentido común" o la red de significados previa a estas reglas u observaciones. Además, en función de los resultados experimentales y sus consecuencias relacionadas con la naturaleza de la cognición humana, así como de los estudios neuronales, hemos podido comprobar que estos criterios que se encuentran en la base de cualquier conjunto de reglas explícitas o de observaciones sobre un determinado aspecto de la realidad, se basan en la generación de relaciones de semejanza entre diferentes patrones neuronales de activación.

Estas propiedades de la cognición tienen una sólida base empírica, y deben ser integradas en una teoría unificada de la cognición. Sin embargo, los modelos que hemos presentado en este apartado como propuestas explicativas de la cognición humana no serían las mejores candidatas a teorías unificadas de la cognición, porque, a pesar de dar cuenta de estas propiedades de la cognición y de la actividad científica, no consiguen integrar otras propiedades de la cognición que presentaremos en el siguiente apartado, y que se sitúan en la base de las presentadas hasta ahora.

Lo que mostraremos es que no es en el cerebro aislado, sino en la totalidad del sistema nervioso del organismo, que incluye el sistema nervioso periférico y el autonómico, además del sistema nervioso central (Damasio 2006), donde se hallan los factores explicativos de la cognición humana. En este sentido, la cognición emerge de la experiencia del organismo como un todo integrado en el que el cerebro interactúa constantemente con la actividad del organismo en su entorno y con las alteraciones de sus órganos y vísceras. Es en esta dinámica compleja entre cerebro, corporalidad y entorno donde hay que buscar los fundamentos de la cognición humana, y de las propiedades de la misma, presentadas en este apartado y en el anterior, que recogen las propiedades de la cognición (y las características de la actividad científica, en tanto que producto cognitivo) que la primera y segunda generaciones en filosofía de la ciencia y ciencias cognitivas han contribuido a destacar y analizar.

4. TERCERA GENERACIÓN: CONTEXTO Y ACCIÓN

Los anteriores apartados nos han permitido presentar las dos generaciones que han dominado el marco de la filosofía de la ciencia, por un lado, y de las ciencias cognitivas, por el otro. En primer lugar, hemos podido comprobar que, tanto en la primera generación como en la segunda, existen paralelismos significativos entre las aproximaciones teóricas de ambas disciplinas. En segundo lugar, también hemos puesto de manifiesto que, en el caso de la filosofía de la ciencia, los modelos de la Concepción Heredada y la Nueva Filosofía de la Ciencia conducen a unas implicaciones epistémicas relativas a la ciencia muy diferentes entre sí, y, en gran medida, contrapuestas. Finalmente, hemos visto que cada uno de los modelos cognitivos presentados han enfatizado algunas propiedades de la cognición humana, y que la segunda generación, sin negar las propiedades destacadas por la primera, ha intentado elaborar un modelo en el que éstas queden explicadas sobre la base de otras propiedades más "primitivas" o "elementales", como por ejemplo en el caso del conexionismo, que intenta explicar el carácter estructurado de la cognición como patrones de activación neuronal estabilizados y recurrentes, más que como una evidencia del carácter simbólico y computacional de las estructuras mentales.

Antes de pasar a presentar nuestra contribución a una teoría unificada de la cognición, a partir de la cual sugerir algunas de las características de un posible modelo en filosofía de la ciencia que pueda dar cuenta de la actividad científica y su complejidad, dedicaremos algunas páginas a lo que se ha denominado tercera generación, tanto en filosofía de la ciencia como en ciencias cognitivas. De estas páginas extraeremos nuevas propiedades de la cognición que deben formar parte de una teoría integrada de la cognición, y algunos aspectos de la actividad científica que los modelos anteriores han tratado de una forma simplista, según consideran los representantes de esta tercera generación (Harré 2003, Ferreirós y Ordóñez 2002).

4.1. TRADICIÓN EXPERIMENTAL: IMPLICACIONES EPISTÉMICAS

La Nueva Filosofía de la Ciencia dio lugar a un panorama de pesimismo epistémico en el que la dinámica científica parecía poder reducirse a luchas de intereses, en las que las que las controversias científicas se resolvían en función de condiciones "externas", como intereses políticos y económicos, o aspectos sociológicos de otro tipo (Solís 1994). El *"Strong Program"* supuso la culminación de este giro radical en filosofía de la ciencia. A continuación mencionaremos un par de obras representativas de una corriente que tenía la voluntad de continuar esta línea iniciada por la obra de Kuhn y que culminaría en el giro sociologista de Barnes y Bloor. A pesar de considerarse inicialmente una continuación de esta línea de investigación, los trabajos que mencionaremos introducen nuevos elementos que parecen conducir hacia nuevos niveles de análisis, hasta el punto de alejarse tanto del tipo de explicaciones basadas en la noción de "interés" del *Strong Program*, que pasaron a introducir nuevos factores explicativos relevantes. Pickering planteaba incluso la opción de inaugurar una nueva línea de investigación basada en las "prácticas", y no en los intereses sociales, a partir de este tipo de estudios (Pickering 1992).

Las obras que vamos a presentar como representativas de esta nueva tendencia son *La Vida en el Laboratorio* (1995), de Latour y Woolgar, y *Leviathan and the Air-Pump* (1985), de Simon y Schaffer. A pesar de que una consiste en un estudio antropológico en el que se participó activamente en un laboratorio científico, y el otro es una investigación histórica de un episodio de la ciencia del siglo XVII, ambos sostienen unas tesis de fondo muy similares, en continuidad con el giro sociologista en filosofía de la ciencia, pero a la vez con elementos novedosos respecto a éste.

El primer elemento que cabe destacar es el del papel fundamental que para estos autores juegan el contexto y los propósitos de los científicos a la hora de llevar a cabo su trabajo y de resolver los conflictos y controversias que surgen en el mismo. Este nivel de análisis parece muy próximo al de los intereses sociales utilizados por el giro sociologista como principal factor explicativo de la resolución de las controversias científicas. En el caso de la obra de Simon y Schaffer, la manera como utilizan el contexto en su obra para explicar las diferentes conclusiones a las que llegan diferentes investigadores en relación a la bomba de vacío es muy próxima a la noción de interés social, en la medida en que la ubicación geográfica de cada autor y las circunstancias políticas de la misma son factores clave para entender el posicionamiento del mismo con respecto a la existencia o no del vacío y a la validez de la bomba de vacío como instrumento de investigación científica (Shapin y Simon 1985, pp. 80-109, 283-344).

En el caso de la obra de Latour y Woolgar, la situación es algo distinta. La investigación de estos autores no compara la perspectiva de científicos que se ubican a grandes distancias. Más bien, realizan lo que ellos mismos denominan un estudio microsociológico en el que se analiza la actividad de un laboratorio y algunos otros grupos de investigación en relación a un tema y a una actividad muy específica. El resultado es que, más que atender a intereses sociales según las estructuras sociales y políticas en cada caso, atienden a las interacciones cotidianas entre diversos investigadores, y a los cambios que se producen en sus argumentaciones y pruebas científicas en función de los cambios contextuales, que alteran a su vez los propósitos de los diversos investigadores implicados. Latour y Woolgar sostienen que son precisamente estos aspectos informales los que constituyen la “lógica” del laboratorio (Latour y Woolgar 1995, p. 154). A diferencia del modelo kuhniano, que aún partía de la hipótesis de que los científicos trabajan bajo un paradigma o conjunto de compromisos teóricos y experimentales sostenidos en el tiempo, Latour y Woolgar analizan los cambios constantes de la “lógica” seguida por parte de los miembros de un laboratorio en función de los cambios en el flujo de poder, la influencia de unos investigadores sobre otros, etc. Dicho de otro modo, el contexto y los propósitos de los diferentes investigadores son factores clave a tener en cuenta a la hora de comprender los aspectos teóricos y las pruebas u observaciones de una comunidad científica, y la imagen de la ciencia kuhniana como una sucesión de paradigmas que se dan lugar después de una época de crisis no recoge estos cambios microscópicos en la dinámica científica:

“Cada modificación de contexto lleva diferentes deducciones, cada una de las cuales puede ser igualmente “lógica”. Así, es importante darse cuenta de que, cuando se dice que una deducción no es lógica, o cuando decimos que la creencia desvió una posibilidad lógica, se hace con la perspectiva del tiempo transcurrido, y esta comprensión *a posteriori* proporciona otro contexto en el que nos pronunciamos sobre el carácter lógico o ilógico de una deducción” (Latour y Woolgar 1995, p.154).

A parte de la importancia de los cambios contextuales y los cambios en cuanto a los propósitos de los diferentes científicos implicados en una exploración, los estudios realizados por Latour y Woolgar, por un lado, y Simon y Schaffer, por el otro, se hacen eco de otro aspecto relevante de la actividad científica que supone, con mayor claridad todavía que el anterior, otra novedad con respecto a los modelos que habían existido anteriormente.

A la hora de explicar las interminables controversias en torno a la bomba de vacío y su validez como instrumento científico, Simon y Schaffer deparan en que éstas giraban alrededor de detalles técnicos de los diseños experimentales que Boyle había llevado a cabo. Los tipos de materiales utilizados, el éxito en la realización del experimento para que se ajustase a aquello para lo que se había diseñado, la habilidad de diferentes experimentadores para llevar a cabo el experimento y producir los mismos fenómenos, etc., se convirtieron en los centros de batalla más recurrentes a la hora de situarse a favor o en contra de este instrumento y de las prácticas experimentales asociadas (Shapin y Simon 1985, pp. 22-282).

Del mismo modo, Latour y Woolgar señalan como una de las actividades más importantes de la investigación científica la producción en el laboratorio de lo que ellos denominan ‘inscripciones’ (Latour y Woolgar 1995, 53-104). Para estos autores, es en esta capacidad técnica de producir determinados fenómenos donde comienza todo el juego argumentativo de la comunidad científica, y sus labores de publicación de artículos especializados. Latour y Woolgar denominan “fenomenotecnia” a esta labor artesanal y técnica de producir nuevos fenómenos artificiales en un laboratorio mediante el uso adecuado de determinados instrumentos y artefactos (Latour y Woolgar 1995, p. 76). Otros estudios como los de Collins o Knorr-Cetina sostienen tesis similares a las mencionadas, en la medida en que conceden gran importancia al carácter prefabricado y artificial de los objetos con los que trabaja la comunidad científica (Knorr-Cetina, citado en Latour 1993, p. 151), y a la cuestión de la habilidad del experimentador a la hora de generar un determinado fenómeno (Collins 1985, Collins y Yearley 1992).

A partir de este nuevo énfasis en el carácter transformacional de la actividad científica, se comenzó a constituir una nueva tradición alternativa que desafiaba a la filosofía de la ciencia a considerar la actividad experimental en toda su complejidad y niveles de análisis. Hasta ese momento, tanto la Concepción Heredada como la Nueva Filosofía de la Ciencia habían aceptado la importancia de la experimentación, ya sea para verificar teorías o para la recolección de datos a favor del propio paradigma. Sea como fuere, a la práctica ambas tradiciones habían utilizado el término experimentación de un modo equivalente al de observación (Harré 2003; Ferreirós y Ordóñez 2002; Gooding, Pinch y Schaffer (eds.) 1989, p.

xiii), dedicando la mayor parte de sus esfuerzos a la exploración de la naturaleza y propiedades de las teorías científicas. Es por ello que, para la tradición experimental, tanto la Concepción Heredada como la Nueva Filosofía de la Ciencia se consideran modelos teoreticistas, a pesar de sus diferencias (Ferreirós y Ordóñez 2002).

La primera implicación a la que nos conduce este nuevo énfasis en el estudio de la experimentación es que, a diferencia de lo que sostenían las tradiciones anteriores, los experimentos no son una mera modalidad de la observación para verificar hipótesis teóricas, ni son una estrategia para consolidar las promesas del propio paradigma. Existen experimentos de diversos tipos, pero, al menos algunos de ellos, tienen una vida propia, al margen de la teoría. Galison es uno de los autores que estudia esta doble tradición, teórica y experimental, como dos niveles de análisis que se entrecruzan, pero que son independientes (Galison 1987). Por otro lado, Steinle, Gooding o Hacking han puesto ejemplos de lo que denominan experimentos exploratorios, que analizan de forma sistemática algún fenómeno o efecto producido en el laboratorio, sin tener ninguna teoría científica elaborada de referencia (Gooding 1990, 1992; Hacking 1996; Steinle 1997, 2002a, 2002b)). Dicho de otro modo, "la experimentación tiene vida propia" (Hacking 1996, p. 178), o una autonomía relativa con respecto a la teoría (Ferreirós y Ordóñez 2002). Incluso, filósofos de la ciencia como Gooding o Ferreirós y Ordóñez plantean invertir la jerarquía, proponiendo un giro procedimental (Gooding 1990) o la existencia de una "carga experimental" de la teoría (Ferreirós y Ordóñez 2002), en el sentido en que la experimentación sostenida y la producción de ciertos fenómenos o efectos serían aspectos fundamentales para la elaboración de teorías científicas, al menos en algunos casos.

La segunda implicación es que esta autonomía del experimento con respecto a la teoría refuerza la idea de que la ciencia no es solamente una representación o una construcción de esquemas mentales sobre la realidad, sino que es una intervención sobre la misma. La experimentación es, ante todo, un hacer, un producir, que envuelve muchas dimensiones de la cognición humana, diferentes a las palabras (Hacking 1996, p. 173, Ferreirós 2007). Para Hacking, la ciencia tiene dos objetivos fundamentales, a saber, la teoría y el experimento. Las teorías se encargan de decir cómo es el mundo; la experimentación y la tecnología, de cambiarlo. La ciencia representa e interviene, o transforma la realidad que investiga (Hacking 1996, pp. 49-50). El énfasis en el carácter transformacional de la actividad científica tiene algunas implicaciones epistémicas para la ciencia. Por ejemplo, según Hacking, no es en el nivel de la representación, sino en el de la intervención, donde deben abordarse cuestiones como la del realismo científico. Cuando pasamos a utilizar algunos objetos que han surgido de la experimentación inspirada en alguna teoría para producir otros fenómenos, entonces podemos decir que son reales, en la medida en que son utilizados como causa de otro efecto. Hacking sostiene de este modo que "El árbitro final en filosofía no es lo que pensamos, sino lo que hacemos" (Hacking 1996, pp. 49-50). Otros autores como Buchwald (Buchwald y Schweber 1995, pp. 345-351) o Franklin (1986, 1989, 2002) han argumentado que el énfasis en la dimensión experimental de la ciencia es un modo de escapar al pesimismo

epistémico derivado de la Nueva Filosofía de la Ciencia y el giro sociologista llevado a cabo por el *Strong Program*.

Más tarde retomaremos esta cuestión. Antes, necesitamos conocer las propiedades cognitivas restantes que, a nuestro juicio, debería integrar un teoría de la cognición unificada, que sirva como modelo cognitivo para la elaboración de un modelo de la práctica científica capaz de abordar la ciencia asumiendo su complejidad, esto es, las relaciones bidireccionales entre teoría, observación y experimentación, y los diferentes niveles que pueden tener cada uno de estos aspectos de la actividad científica. Acabaremos esta parte de nuestro trabajo con el análisis de la tercera generación en ciencias cognitivas, y las propiedades que ésta destaca de la cognición humana, y que habían sido olvidadas, o tratadas superficialmente, por las generaciones anteriores.

4.2. *ENACCIÓN: COGNICIÓN SITUADA Y CORPORIZADA*

Las ciencias cognitivas han presentado a lo largo de su reciente historia dos modelos de la cognición distintos, correspondientes a los sistemas físicos de símbolos y a las redes conexionistas, cuyas propuestas acerca de la cognición humana son diferentes, aunque para muchos autores las redes conexionistas constituyen un nivel de análisis inferior, del cual emergen los procesos simbólicos (Smolensky 1989, Rumelhart, Smolensky y McClelland 1986).

A pesar de las diferencias entre ambos modelos, que hemos presentado en apartados anteriores, existen entre ellos puntos en común que la tercera generación en ciencias cognitivas ha destacado. Según esta tercera generación, los modelos cognitivos anteriores han dejado de lado aspectos de la cognición relativos a la influencia del contexto y el papel de la corporalidad y la interacción entre organismo y entorno.

Tanto el modelo simbólico como el conexionista sostienen que los procesos cognitivos dependen de las representaciones internas que los sistemas generan, y que recogen todos los aspectos relevantes del entorno que deben considerarse a la hora de llevar a cabo determinados procesos cognitivos. Dreyfus fue uno de los autores más críticos con este presupuesto, al indicar que la cognición humana emerge de un fondo de sentido común que involucra el cuerpo y la historia interactiva y social del organismo en su entorno (Dreyfus 1992). Este filósofo recupera la tradición fenomenológica para argumentar que la cognición consiste en una interpretación permanente que no se puede comprender como un conjunto de reglas y supuestos porque es una cuestión de acción e historia. Nunca podemos situarnos fuera del mundo que habitamos para representarlo mediante estructuras internas sujetas a determinadas reglas computacionales o de combinación de redes neuronales. Estamos siempre inmersos o arrojados en el mundo que habitamos. Pensar en la cognición como representación implica aislarnos de esta dimensión viva y dinámica de la cognición. Por tanto, el contexto y el sentido común no son residuos que puedan eliminarse mediante el descubrimiento de reglas más elaboradas, sino que constituyen la esencia misma de la cognición creativa (Varela 1990, pp. 95-96).

Dreyfus elabora una crítica a los programas de inteligencia artificial, en la medida en que basan sus procesos computacionales en representaciones de fragmentos del mundo, aislados de esta dimensión viva, dinámica y cambiante de la cognición. Uno de los estudios más relevantes en relación a esta visión dinámica de la cognición humana lo encontramos en la investigación de Thelen y Smith sobre el desarrollo de los procesos cognitivos en la etapa infantil (Thelen y Smith 1994).

La conclusión a la que llega Dreyfus es que la cognición es un producto de este fondo interactivo y dinámico del agente en su entorno, y que por ello, un estudio de la cognición que quisiera integrar este aspecto esencial de la misma debería tener en cuenta el papel de las bases corporales del agente, el papel de la situación o contexto cambiante en el que se halla el agente, y de los propósitos del mismo, también cambiantes en función de la dinámica interactiva del mismo (Dreyfus 1992, p. 234).

El contexto es uno de los aspectos en el que más énfasis se ha hecho en esta tercera generación en el estudio de la cognición. De un modo similar a lo que sucedía en filosofía de la ciencia, se comenzó a analizar la influencia del contexto en la generación de sentido y del razonamiento humano. Siguiendo un ejemplo de Varela, en un entorno como el de la circulación vial, se pueden escoger de una forma artificiosa un conjunto de ítems discretos (como por ejemplo carrocerías, ruedas y ventanillas de un ensamblaje de automóviles). Sin embargo, las relaciones de movimiento entre objetos, que son el fondo contextual desde el que emergen las reglas de la conducción vial, no tienen de suyo unos límites bien trazados. Se requiere el uso continuo del sentido común, en función de nuestra historia social e interactiva en un contexto determinado, para configurar nuestro mundo de objetos. Por ejemplo, ¿incluiremos a los peatones en nuestro mundo de conductores de automóviles? Es obvio que la respuesta a esta pregunta sólo se puede extraer de un muy difuso trasfondo de consideraciones irremediablemente contextuales: dónde estamos, qué hora es, por qué calle conducimos y demás. Utilizando una metáfora, Varela concluye que el dominio del conductor se parece más a una detallada curva fractal que a un cristal claramente definido (Varela 1990, pp. 92-93).

El otro aspecto a tener en cuenta es el de los propósitos o necesidades humanas. Winograd, tras un cierto desencanto respecto a los modelos clásicos de programación, analizó mediante las nociones de ciclo hermenéutico y actos de habla la influencia de los propósitos humanos, junto con los cambios contextuales, en los procesos cognitivos y verbales.

La noción de círculo hermenéutico, inspirada en la tradición occidental en filosofía, por un lado, y la obra del biólogo Maturana, por el otro, defiende que la actividad del sistema nervioso de un organismo no está determinada por las representaciones que éste hace de la realidad, sino por su propia estructura. Esta estructura del organismo se considera a su vez “plástica” porque puede ser modificada por la actividad del organismo en su entorno, de modo que la estructura del sistema en un momento dado es un producto de toda la historia previa de la actividad y estructura cambiante (Winograd 1981, pp. 291-292).

La noción de círculo hermenéutico nos interesa porque destaca la importancia de los cambios de la estructura del sistema en función de los cambios de su actividad en el entorno, que dependen de los propósitos y necesidades cambiantes del organismo. Para Winograd, el círculo hermenéutico y los actos de habla guardan una estrecha relación, en la medida en que los actos de habla también enfatizan la importancia de los propósitos del hablante, que se ponen de manifiesto en la fuerza ilocutiva del discurso, más allá del carácter demostrativo del lenguaje. Por ejemplo, si yo emito una promesa de que estaré en A a la hora B, el contenido proposicional es mi asistencia a ese lugar y esa hora, mientras que la fuerza ilocutiva es el mismo acto de prometer, que implica un compromiso futuro en el dominio de la acción. Pues bien, en una conversación, cada acto de habla se convierte en una modificación contextual para el interlocutor, que ajustará sus actos de habla al contexto e intención del hablante, en relación con la suya propia. Por ejemplo, en el caso de la promesa, el interlocutor responderá de un modo muy distinto si cree que el hablante cumplirá o no su promesa. El significado de una oración sólo adquiere pleno significado al considerar el contexto social, así como los propósitos de ambos interlocutores. El dominio de la acción adquiere tanta relevancia o más que el semántico a la hora de dotar de significado las oraciones del lenguaje (Winograd 1981, p. 302).

El papel que la corporalidad juega en nuestras relaciones con el entorno, y que por tanto determina nuestros procesos cognitivos, es el tercer aspecto que destaca la tercera generación en ciencias cognitivas. La noción de mente corporizada (*embodied mind*) se consolida con la obra de Varela, Rosch y Thompson, titulada precisamente *The Embodied Mind* (1991). A partir de las nociones de *autopoiesis* y sistema autoorganizado de Maturana y Varela (Maturana y Varela 1989, Varela 1990, Varela, Rosch y Thompson 1991, Thompson 2007), en esta obra se desarrolla una aproximación de la cognición alternativa al paradigma simbólico y al conexionista, según el cual el organismo humano es un sistema autoorganizativo que establece un dominio de interacciones recurrentes que le permiten acoplarse estructuralmente al entorno para satisfacer sus necesidades, en una dinámica continua de codeterminación o transformación mutua (Varela, Rosch, Thompson 1991). Además, estos autores destacan la asimetría del organismo sobre el entorno en la cognición, ya que la generación de un mundo u horizonte de sentido depende de las características sensorimotoras del agente, en tanto que sujeto corpóreo. Thompson, en una obra reciente, resume las tesis de Varela del siguiente modo:

"1. Life = autopoiesis and cognition. Any living system is both an autopoietic and a cognitive system. (Henceforth, I will use "autopoietic" widely to include cognition and adapativity.)

2. Autopoiesis entails the emergence of a bodily self. A physical autopoietic system, by virtue of its operational closure (autonomy), produces and realizes an individual or self in the form of a living body, an organism.

3. Emergence of a self entails emergence of a world. The emergence of a self is also by necessity the co-emergence of a domain of interactions proper to that self, an environment or Umwelt.

4. Emergence of a self and world = sense-making. The organism's environment is the sense it makes of the world. The environment is a place of significance and valence, as a result of the global action of the organism.
5. Sense-making = enaction. Sense-making is viable conduct. Such conduct is oriented toward and subject to the environment's significance and valence. Significance and valence do not preexist "out there", but are enacted, brought forth, and constituted by living beings. Living entails sense-making, which equals cognition" (Thompson 2007, p. 158).

Desde este punto de vista, la constitución material de un organismo como sistema autoorganizado con unas condiciones sensorimotoras determinadas, y las relaciones interactivas establecidas con sus hábitats se consideran como precursoras del significado. Se trata de propiedades del entorno que posibilitan el control adaptativo, y guían ese control. Hacen posible para el organismo establecer un control conductual en el entorno que posibilita aproximarse a situaciones favorables y evitar las desfavorables para él. Ya que estas propiedades tienden a venir asociadas a objetos físicos de una relativa permanencia y estabilidad, podemos hablar del 'significado' que estos objetos tienen para un organismo determinado. Lo importante es tener en cuenta que el 'significado' o 'sentido' de un objeto es secundario al 'sentido' de las interacciones que dicho objeto hace posibles (Cisek 1999, p. 136).

En el caso de los seres humanos, para comprender tanto la construcción como el uso de objetos cotidianos como una silla, debemos tener en cuenta que ésta no tiene sentido 'por sí misma'. No puede ser definida como un conjunto de elementos atómicos discretos que conducen a una representación o esquema mental de la misma. Esta descripción no nos permitiría agotar los sentidos de una silla. Lo que define a una silla como tal es el conjunto de interacciones que permite, dadas nuestras estructuras como sujetos corpóreos, y eso la convierte en un objeto significativo en tanto que permite realizar acciones como la de sentarse en un contexto práctico. Esto presupone tener en cuenta ciertas características corporales humanas (fatiga, estructura corporal) así como otras estructuras materiales como mesas, o habilidades como comer, escribir, ir a conferencias, etc. Las sillas no serían un objeto para sentarse si nuestras piernas fueran como las de los flamencos, o si en nuestra cultura no utilizáramos mesas, como es el caso de la cultura tradicional japonesa (Dreyfus 1992, p. 163).

En el ámbito de la simulación y la robótica, destacan investigadores como Brooks, que han diseñado robots que, en vez de representar ciertas situaciones o plantillas estereotipadas y abstraídas del fondo interactivo entre organismo y entorno, poseen ciertos sensores y capacidad motora para percibir y relacionarse con el mundo de modos diversos, o, dicho de otro modo, su mundo propio, en virtud de las peculiaridades perceptivas y motoras de cada robot, y del acoplamiento entre ambas para satisfacer ciertas necesidades o metas. Brooks diseñó robots como Herbart, capaces de evitar ciertos obstáculos del entorno aunque éstos cambiaran constantemente de lugar. El mundo de estos robots no está determinado por las representaciones internas, programadas de antemano por el diseñador, sino que depende de sus capacidades sensoriales y motoras. A pesar de esta carencia de representaciones, un observador externo podría postular la existencia de las mismas al comprobar que el robot es

capaz de llevar a cabo conductas que denominaríamos inteligentes en seres vivos inferiores (Brooks 1991).

5. CONCLUSIÓN

La tercera generación en ciencias cognitivas y la tradición experimental en filosofía de la ciencia guardan claros paralelismos entre sí, tal y como sucedía en el caso de la primera y segunda generación. En ambos casos, se argumenta que las estructuras sintácticas o simbólicas y las reglas inferenciales, lógicas o computacionales no sólo dependen de redes semánticas, prototipos o conexiones neuronales a nivel subsimbólico, sino que la cognición, así como la actividad científica, dependen en última instancia de la dinámica cambiante y viva, dentro de la cual los cambios contextuales, los propósitos y necesidades de los diferentes agentes implicados, y las condiciones materiales y transformacionales del entorno, a partir de la corporalidad y los instrumentos y artefactos que rodean nuestra vida cotidiana y la actividad científica, determinan la generación de un mundo de significación, unas representaciones y unas reglas inferenciales que guardan una cierta estabilidad en el tiempo.

En el caso de las ciencias cognitivas, algunos autores incluso se han planteado la posibilidad de prescindir de elementos representacionales, simbólicos o computacionales a la hora de explicar los procesos cognitivos humanos (Brooks 1991, Van Gelder 1996, 1998). Sin embargo, a pesar de estar de acuerdo en que el contexto, los propósitos y la corporalidad son aspectos que deben tenerse en cuenta en un modelo de la cognición humana, y de las habilidades de robots como los de Brooks para adaptarse al entorno cambiante, este tipo de modelos que no cuentan con elementos representacionales carecen de la capacidad de elaborar planes y procesos cognitivos superiores que son comunes en la cognición humana. El ser humano puede realizar tareas abstractas que van más allá de meras respuestas al entorno. Imágenes, conceptos o reglas de razonamiento y otro tipo de representaciones y computaciones nos permiten llevar a cabo manipulaciones mentales de situaciones imaginarias independientemente de los cambios que acaecen en el entorno circundante (Thagard 2005, p. 197).

Ya que nuestro propósito es el de contribuir a la elaboración de una teoría unificada de la cognición que explique de una forma coherente, sistemática e integrada, todas las propiedades de la cognición humana que hemos mencionado hasta el momento, para que el modelo cognitivo resultante sea capaz de ofrecer una visión de la actividad científica que dé cuenta de la complejidad de la ciencia y de las relaciones entre sus diferentes elementos y niveles de análisis, es necesario integrar estos aspectos básicos de la cognición con otros aspectos representacionales, computacionales y semánticos.

En la segunda parte que sigue, partiremos de esta base experiencial, corporal e interactiva, para elaborar una teoría unificada e integrada de la cognición humana. Como ya quedó apuntado en el prólogo, esta teoría será integrada en la medida en que reúna todas las propiedades de la cognición humana que han aparecido a lo largo de las tres generaciones predominantes en ciencias cognitivas (corporalidad e interacción, influencia del contexto y los

propósitos cambiantes del agente, relaciones de semejanza entre los elementos del entorno en función del criterio interactivo de interés, redes de significación compartidas, estructuración y sistematicidad, representación, y transformación de las estructuras materiales). A su vez, esta teoría se considera unificada en tanto que todas estas propiedades quedarán entrelazadas y ancladas en un fondo experiencial e interactivo común.

A parte de esto, también hemos apuntado en este apartado las implicaciones epistémicas de las tres generaciones anteriores en filosofía de la ciencia (optimismo epistémico en el caso de la Concepción Heredada, en la medida en que la ciencia puede aspirar a la generación de un conocimiento neutro u objetivo, pesimismo epistémico en el caso de la Nueva Filosofía de la Ciencia, ya que reduce la dinámica científica a luchas de intereses y estrategias retóricas entre marcos teóricos inconmensurables, y optimismo relativo de la tradición experimental, en la medida en que basa sus análisis en el potencial transformador y estabilizador de nuevos fenómenos de la ciencia, más que en aspectos teóricos o representacionales).

Pues bien, en la tercera y última parte de esta tesis, desarrollaremos un modelo de la Dinámica de las Prácticas Científicas, a partir de las bases del modelo experiencialista de la cognición de la segunda parte. Este modelo de la actividad científica tendrá como principal propósito el de dar cuenta de la complejidad de la ciencia, y la interrelación entre elementos subjetivos, objetivadores y transformacionales de la experiencia y la cognición humanas, integrando así las perspectivas parciales de los modelos anteriores. Como veremos, es precisamente dentro de esta dinámica compleja entre los diferentes aspectos de la experiencia y las diferentes propiedades de la cognición donde la actividad científica alcanza sus objetivos y adquiere sus características epistémicas distintivas con respecto a otras actividades humanas.

Parte 2: EXPERIENCIALISMO

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta segunda parte es el de plantear una posible vía de desarrollo para una teoría unificada de la cognición humana, capaz de integrar de forma coherente y sistemática sus propiedades, que han quedado apuntadas en la parte anterior. La elaboración de una teoría unificada de la cognición humana nos parece un reto de gran complejidad, pero consideramos que la voluntad de integrar las diferentes perspectivas y modelos de la cognición que han permitido explorar y conocer más a fondo algunas de sus propiedades más destacadas debe permanecer presente en las ciencias cognitivas. Además, esta voluntad de unificación y sistematización puede ayudar a utilizar estos modelos cognitivos para comprender las diferentes actividades humanas en las que se ponen en juego nuestras estructuras y procesos cognitivos, como puedan ser la ciencia, el arte, la educación y el aprendizaje, el deporte, etc.

En nuestro caso, es la actividad científica el marco que utilizaremos para poner a prueba nuestra propuesta teórica en el ámbito de la cognición. El modelo que proponemos se basa en el criterio de integración, en tanto en cuanto tiene como meta principal la de dar cuenta de una forma coherente de las diferentes propiedades de la cognición que han ido apareciendo a lo largo de la primera parte de este trabajo. Los modelos cognitivos que han predominado hasta la fecha han supuesto grandes avances en el conocimiento de algunas propiedades de la cognición, pero no han abordado el reto de explicar otras propiedades de la cognición que quedaban al margen de su horizonte explicativo.

Por ejemplo, la primera generación en ciencias cognitivas, basada en la hipótesis de los sistemas físicos de símbolos, explicaban con éxito las propiedades representacionales, simbólicas y computacionales de la cognición humana, en la medida en que simulaban con éxito la resolución de problemas lógico-matemáticos y, en general, todos aquellos que podían reducirse a operaciones sujetas a reglas formales a partir de la interpretación de estructuras simbólicas prefijadas que representaban diferentes ámbitos del mundo. Estos sistemas físicos de símbolos consiguieron expandir su horizonte explicativo al incluir la riqueza de información semántica, con programas que contenían redes semánticas y podían realizar inferencias sobre la base de esta nueva información. Sin embargo, estos programas no eran capaces de atender a procesos cognitivos que consideramos inteligentes y que tienen que ver con el reconocimiento de patrones que se procesan en paralelo, y que pueden reconocerse a pesar de no ser siempre idénticos entre sí y, por tanto, representables mediante estructuras simbólicas o nodos conceptuales fijos. Además, estos programas eran prácticamente insensibles a las claves contextuales y los propósitos cambiantes de los agentes humanos, que son aspectos esenciales para comprender el significado de las oraciones de nuestro lenguaje, y que vehiculan de este modo nuestra comunicación. Por lo tanto, estos sistemas daban cuenta de propiedades como la representacional o simbólica, la estructuración o sistematicidad de las

reglas formales, y la semántica o conceptual, que implica estructuras jerárquicas, pero no de otras propiedades constitutivas de la cognición humana.

Por otro lado, el conexionismo ha sido un modelo eficaz para integrar propiedades como el reconocimiento de patrones y la comparación de diferentes entidades o elementos del entorno mediante relaciones de semejanza y no de identidad. En este sentido, ha podido explicar algunas propiedades de la cognición que quedaban fuera del alcance del marco simbólico. Sin embargo, ha presentado grandes dificultades para ofrecer modelos capaces de simular la composicionalidad y sistematicidad del lenguaje (Fodor y Pylyshyn 1988), que refleja propiedades de nuestra cognición que el paradigma simbólico era capaz de incluir en sus programas y modelos subyacentes. Tampoco el modelo conexionista ha presentado una explicación y un conjunto de simulaciones capaces de integrar las claves contextuales e intenciones variables del agente, así como la base interactiva de todas sus relaciones con el entorno (Varela, Rosch y Thompson 1991).

Finalmente, la tercera generación, o aproximación enactiva y corporizada, parte precisamente del papel activo del agente en su mundo, y de cómo a partir de la estabilización de ciertos patrones recurrentes a nivel sensorimotor y un acoplamiento estructural con el entorno, genera un horizonte de sentido desde el cual emergen determinados procesos que se estabilizan y adquieren cierto grado de sistematicidad. Este tercer modelo cubre la necesidad de integrar las claves contextuales y las necesidades e intenciones de los agentes, variables a lo largo del tiempo. También enfatiza la importancia de las estructuras físicas o materiales del mundo que habitamos, así como de nuestras contingencias sensorimotoras y corporales, como fondo desde el cual emerge cualquier tipo de patrón cognitivo recurrente.

Esta tercera generación asume el reto de explicar la cognición humana “desde sus cimientos” interactivos, biológicos, contextuales y sociales. Sin embargo, halla una gran dificultad a la hora de dar cuenta de las propiedades de la cognición humana que la hacen específica y distinta a los procesos cognitivos que caracterizan a otras especies del mundo animal. La capacidad de simbolizar diferentes estructuras o aspectos de la realidad, abstrayendo aquellos aspectos que se consideran relevantes en cada caso, y de elaborar sistemas o artefactos cognitivos que siguen reglas formales estables, o de imaginar mundos posibles gracias a simulaciones neuronales, más allá de la interacción con el entorno inmediato, son propiedades de la cognición humana que, por el momento, quedan fuera del alcance explicativo de esta tercera generación en ciencias cognitivas.

Este reto de las ciencias cognitivas de alcanzar una visión integrada de la cognición humana, pero partiendo de sus aspectos más básicos o elementales, que la conectan con el resto de especies animales, se conoce como “Scaling Up Problem” (Calvo y Gomila 2008, pp. 1-26). Existen diferentes aproximaciones y soluciones tentativas a este problema, a partir de mecanismos como la imitación, la analogía y el control voluntario (Wilson 2008), o la estructuración metafórica de nuestros sistemas conceptuales, que se pone de manifiesto en el lenguaje (Johnson y Lakoff 1981, 1999, 2007), así como otro tipo de estrategias computacionales (Sanz, Gómez, Hernández y Alarcón 2008; Anderson 2008). Aún existe otra

línea que tiene el propósito de explicar la emergencia de los procesos cognitivos superiores a partir del uso de artefactos tecnológicos y de la participación en la organización social de ciertos entornos donde se llevan a cabo procesos cognitivos (Clark 1997, 2001, Hutchins 1995, 2002, Wheeler 2008). Estas propuestas nos parecen útiles a la hora de destacar aspectos importantes que contribuyen a que la cognición humana presente las propiedades y alcance que posee.

En nuestro caso, asumiremos algunos aspectos de las estrategias explicativas mencionadas. La intención es la de seleccionar lo que nos parezca más relevante de cada una de ellas, con tal de ofrecer una posible teoría unificada que explique las diferentes propiedades de la cognición, y las relaciones entre las mismas. Una aproximación de este tipo puede ser una buena estrategia para adquirir una mayor comprensión de los diferentes procesos cognitivos humanos, así como de su fondo común.

Denominaremos 'experiencialismo' a nuestra contribución al desarrollo de una teoría unificada que, partiendo de las bases interactiva, dinámica, corpórea y transformacional de la cognición (que constituyen aspectos fundamentales de la experiencia de un agente en su entorno), permita escalar hasta integrar en un todo coherente las propiedades de la cognición que quedan abordadas desde los modelos de las generaciones anteriores. En la medida en que estos modelos no comienzan por las bases experienciales mencionadas, quedan desgarrados de la base biológica y material desde la cual nace la cognición humana y el resto de sus capacidades 'superiores' que lo diferencian del resto de seres vivos.

Hemos escogido el término 'experiencialismo' porque hallamos referentes o antecedentes tanto en el ámbito de la filosofía de la ciencia como en el de la ciencia cognitiva (concretamente en la lingüística cognitiva). Por tanto, nos parece que puede dar lugar a un modelo donde se produzca un encuentro entre las dos disciplinas que son de interés para nuestro trabajo. En el ámbito de la ciencia, el principio fundamental del experiencialismo queda condensado en la frase de Duarte Pacheco "la experiencia es la madre de todas las cosas" (Pacheco 1892). Esta filosofía se remonta a la época renacentista, cuando el humanismo condujo al descubrimiento de realidades relacionadas con el ser humano y con su contexto. Este experiencialismo, debido al establecimiento de una mentalidad crítica fue, en su inicio, tan sólo una ilustración, comprobación o negación de enunciados o teorías asumidos en gran medida por especulación o deducción racional. Sin embargo, progresivamente pasó a considerarse en sí mismo productor de saber. La adopción de la matemática como lenguaje universal que sirviese de fundamento y modo de documentar gran parte del saber resultante de la experiencia fue uno de los factores fundamentales de la época. El pragmatismo y la experiencia fueron elementos clave a la hora de confrontarse con nuevas realidades y exploraciones que permitieron verificar la verdad o falsedad de conceptos que habían sido tenidos como ciertos por no tener pruebas que los contradijesen. Nos interesa especialmente la importancia concedida a la matemática y la suposición de que la experiencia es la madre de todo conocimiento y/o realidad.

Por otro lado, el experiencialismo, como la postura filosófica de la lingüística cognitiva encabezada por Johnson y Lakoff (Lakoff 1990, Johnson 1991, Johnson y Lakoff 1981, 1999, 2007), sostiene que el pensamiento tiene una estructura 'ecológica'. Esto quiere decir, en primer lugar, que la eficiencia en el procesamiento cognitivo depende de la estructura global del sistema conceptual y no simplemente de operaciones entre símbolos aislados, y, en segundo lugar, que el núcleo de nuestros sistemas conceptuales se basa directamente en la percepción, en el movimiento corporal y en la experiencia física y social. En cuanto al lenguaje, el experiencialismo sostiene que no es una facultad separada de los demás procesos cognitivos, sino que comparte con ellos estructuras y habilidades, tales como formar conceptualizaciones estructuradas, utilizar una *gestalt* estructural para categorizar otra, etc. Sostiene, además, que el lenguaje es de naturaleza fundamentalmente 'corpórea', es decir, su funcionamiento está íntimamente relacionado con la experiencia física del hombre. A lo largo de este apartado exploraremos las bases corporales, físicas y sociales de la cognición, y utilizaremos el lenguaje humano como reflejo de las características de la cognición humana, según el modelo experiencialista propuesto.

Nuestra propuesta teórica de la cognición tendrá como fuente de inspiración las ideas de Johnson y Lakoff, aunque también beberá de otras fuentes que contribuirán a completar algunos de los aspectos que consideramos que requieren un mayor nivel de desarrollo en su versión del experiencialismo.

Gibbs extiende muchas de las hipótesis de Johnson y Lakoff a todos los procesos cognitivos humanos, como son la conceptualización o la imaginación, y explicita lo que él denomina ‘embodiment premise’ (Gibbs 2006, p. 9), según la cual la experiencia consciente del cuerpo en acción por parte de un sujeto proporciona parte de las bases fundamentales del lenguaje y el pensamiento. Esta premisa sostiene que la cognición es lo que tiene lugar cuando el cuerpo actúa en el medio físico y cultural y debe ser estudiada en términos de las interacciones dinámicas entre el agente y su entorno. Más que asumir que la cognición es algo puramente interno, simbólico, computacional y desligado del cuerpo en interacción con un entorno físico, debemos buscar los modos en que lenguaje y pensamiento están inextricablemente formados por la acción corporal del agente. Esta premisa se halla en la base del modelo experiencialista.

A parte de estas dos fuentes de inspiración que se sitúan en los fundamentos del modelo que se va a proponer, existen otras fuentes de inspiración que nos ayudarán a desarrollar otros aspectos más específicos. En primer lugar, la obra de Varela nos permitirá introducir el concepto de viabilidad, según el cual cada especie desarrolla unos patrones recurrentes en su sistema nervioso, arraigados en su corporalidad y la interacción con su entorno, que le permiten adaptarse al mundo y generar un horizonte de sentido viable para sus características sensorimotoras, y su historia filogenética. De este modo, el experiencialismo podrá ofrecer una posible explicación de los patrones de activación estabilizados por parte de una especie determinada, que se transmiten genéticamente, alejándose de otro tipo de teorías innatistas cercanas al paradigma simbólico o del procesamiento de la información.

En segundo lugar, utilizaremos las nociones de “affordance” de Gibson (1986) y de accesibilidad a la información mediante la maestría en el manejo de nuestras contingencias sensorimotoras, desarrollada por Noë (2010) y Noë y O’Regan (2004), para explicar las bases físicas y corporales de los procesos perceptivos. Finalmente, mostraremos que la percepción y los procesos cognitivos asociados no sólo dependen de estas bases físicas y sensorimotoras, sino que dependen de los procesos internos del agente, que determinan sus patrones de activación neuronal y los esquemas exploratorios que emergen de dichos patrones de activación. Utilizaremos la teoría del ciclo perceptivo de Neisser (1981) para desarrollar este punto.

A continuación, exploraremos otra dimensión de la experiencia que va más allá de los aspectos corporales, físicos y neuronales de la experiencia. Las investigaciones de Hutchins (1995, 2008) nos permitirán analizar de qué modo las prácticas culturales y la organización social son un aspecto fundamental de nuestra experiencia como agentes que habitan un mundo. Las prácticas culturales son un aspecto fundamental de nuestra experiencia y, por ende, de nuestros procesos cognitivos. Estas prácticas culturales dotan al ser humano de procedimientos sistemáticos y estructurados, de redes compartidas de significados y de unas estructuras materiales comunes, fruto de la transformación del entorno y de la generación de artefactos.

Finalmente, utilizaremos las investigaciones de Johnson y Lakoff (1986, 1999) en torno al lenguaje y sus bases cognitivas y experienciales subyacentes, pero también de autores como los ya mencionados Neisser y Hutchins. Esto nos permitirá estudiar las propiedades de la experiencia humana y la cognición en el seno mismo del lenguaje, y presentar a su vez a éste como un artefacto cognitivo especial, capaz de estructurar la experiencia y la cognición humanas, y de llevarla más allá de sus propios límites, facilitando enormemente la transformación del entorno y el diseño de nuevos artefactos y tecnologías. Para esto también utilizaremos el modelo de ‘integración conceptual’ de Fauconnier y Turner (2002), que destaca algunos aspectos cognitivos del lenguaje en la línea de los señalados por Johnson y Lakoff, pero que van más allá de los mismos.

La idea es la de explorar algunas de las dimensiones más destacadas de la experiencia humana (corporal, interactiva, social, lingüística) para ver cómo inciden en el desarrollo de nuestra cognición y de sus diversas propiedades. Comenzaremos por uno de los aspectos más básicos de la experiencia, como son la percepción y la acción del organismo en su entorno. Además de ser la base de la experiencia de cualquier agente humano y animal, la percepción también constituye la base experiencial de la cognición, de donde surgen los demás procesos cognitivos, y es el lugar donde cognición y realidad se encuentran (Neisser 1981, p. 29).

2. PERCEPCIÓN Y ACCIÓN: BASES EXPERIENCIALES DE LA COGNICIÓN

2.1. PARADIGMA SIMBÓLICO Y PERCEPCIÓN

El estudio de la percepción en ciencias cognitivas ha estado influenciado por el paradigma simbólico clásico. No en vano uno de los investigadores más influyentes en el

desarrollo de programas de ordenador que simularan procesos cognitivos humanos a partir de este paradigma es Marr, quien dedicó gran parte de sus esfuerzos al estudio de la visión y al desarrollo de programas capaces de simular la percepción visual humana a partir de la representación tridimensional de una imagen mediante reglas computacionales aplicadas a entradas de información que constituían una imagen bidimensional indefinida (Gardner 2000, pp. 295-322).

Este tipo de programación influyó directamente en el estudio de la percepción humana. La idea básica era que los seres humanos contamos con un equipamiento innato de reglas de procesamiento de la información que permiten interpretar las entradas de información sensoriales para dar lugar a la percepción interpretada de imágenes significativas y coherentes, con las propiedades perceptivas de nuestro mundo visual tal y como lo conocemos, compuesto de figuras u objetos con una forma delimitada y unas relaciones de profundidad y distancia entre sí. Por tanto, sin ese equipamiento cognitivo innato, nuestra percepción no podría ser interpretada y se limitaría a un conjunto inconexo de estímulos que darían lugar a imágenes bidimensionales indefinidas. Hoffman es uno de los autores que más se ha dedicado a detallar este tipo de reglas computacionales con las que cuenta nuestra mente para interpretar la información sensorial que recibimos por la retina (Hoffman 2000).

Este tipo de interpretaciones de la percepción desde el punto de vista simbólico también influyeron, y a su vez se vieron reforzadas, por el estudio del cerebro, y de la corteza visual en particular. Esta zona del cerebro permite detectar respuestas eléctricas de las neuronas cuando se presenta a un animal una imagen visual. La interpretación de estas respuestas desde el paradigma clásico en ciencias cognitivas era que las neuronas corticales podían clasificarse como detectores de rasgos que responden a ciertos atributos del objeto en cuestión. Por ejemplo, determinadas neuronas se ocupaban de la orientación, otras del contraste, la velocidad, el color, etc. Estos resultados parecen dar respaldo biológico a la idea de que el cerebro recoge información visual a partir de la retina por intermedio de las neuronas detectoras de rasgos de la corteza, y que luego la información pasa a posteriores etapas del cerebro para nuevos procesamientos (categorización conceptual, asociaciones de memoria, y eventualmente la acción) (Varela 1990, pp. 50-51).

Esta interpretación de la detección de rasgos por parte de las neuronas corticales se ajustaba tanto al paradigma simbólico como al conexionista, en la medida en que ambos partían de una aproximación representacionalista de la cognición, y los rasgos detectados por las neuronas corticales podían interpretarse como unidades simbólicas, así como neurodos conectados en redes al estilo conexionista. Lo importante es que se concebía que las neuronas detectaban o representaban diferentes rasgos de la realidad, y procesaban esa información mediante unas reglas computacionales o neurocomputacionales determinadas para pasar posteriormente a la realización de otros procesos cognitivos, o de acciones.

Las ideas presentadas de la percepción visual por parte de las aproximaciones representacionalistas como un modo de procesamiento de la información a partir de la

detección de rasgos y reglas computacionales para operar con ellos, nos indica una de las propiedades de la percepción que una teoría unificada de la cognición no puede pasar por alto.

La experiencia es algo complejo, que constituye la base de las relaciones de un organismo con su entorno. Nada existe para un organismo fuera de su experiencia del mundo circundante y de sí mismo. Esta experiencia tiene como base la percepción, ya que sin la percepción de algo no hay conciencia, ni experiencia de ningún tipo. Los organismos vivos no nacemos de la nada, sino que formamos parte de una escala evolutiva, y de una memoria filogenética que se transmite de generación en generación.

En este sentido, es innegable que nuestro sistema nervioso cuenta con unos patrones innatos que implican una determinada especificidad neuronal, de modo que nuestro sistema nervioso posee subsistemas que interactúan para interpretar cierto tipo de información (Damasio 1999, 2005, 2006; Gibbs 2006, pp. 42-78; Varela 1990, Varela, Rosch y Thompson 1991). Por ejemplo, en el caso de los seres humanos, existe una especificidad neuronal para el reconocimiento de los gestos faciales humanos, que permiten a recién nacidos extraer gran cantidad de información del rostro de otras personas, e imitar sus gestos, a pesar de que sus capacidades visuales estén aún poco desarrolladas (Noë 2010, pp. 142-149). Por tanto, nuestra experiencia está constituida desde sus inicios de una memoria filogenética que permite desarrollar subsistemas especializados en la extracción de diferentes tipos de información del entorno circundante.

La memoria filogenética permite distinguir entre la generación de diferentes mundos visuales para diferentes especies animales. Por ejemplo, tomemos el caso del color. El color no depende exclusivamente de la longitud de onda de los rayos de luz y de su impacto en la superficie. El fenómeno de “inducción cromática” pone de manifiesto que una misma longitud de onda en una superficie puede aparecer como gris, o como verde si se pone en un trasfondo rojo. La percepción cromática es producto de un complejo proceso de comparación cooperativa entre múltiples conjuntos neuronales del cerebro, que determina el color de un objeto según el estado cerebral global que corresponde tanto a una imagen de la retina como a cierta expectativa de lo que debería ser dicho objeto (Varela 1990, p. 105).

Nuestras neuronas, por tanto, no representan rasgos del mundo, sino que componen un sistema complejo que funciona como un todo organizado y produce un mundo visual determinado. Esto es aún más claro al comparar nuestra percepción visual al de otras especies. Existen otras especies que han creado mundos cromáticos diferentes al realizar operaciones neuronales cooperativas diferentes a partir de sus órganos sensoriales, movimientos oculares, y sus expectativas motoras de acción sobre el entorno. Muchos pájaros son tetracromáticos (requieren cuatro colores primarios para construir el espectro de colores, mientras que los seres humanos requerimos tres, esto es, somos tricromáticos).

Estos datos nos permiten ofrecer una interpretación alternativa al hecho de que exista una especificidad neuronal en la percepción visual, y unos procesos de interpretación de la información sensorial que nos acompañan desde nuestro nacimiento. Las neuronas no representan rasgos del mundo ni cuentan con mecanismos computacionales innatos de suyo,

sino que las operaciones neuronales cooperativas que subyacen a nuestra percepción del color son resultado de la larga evolución biológica de nuestro grupo de primates (Varela 1990, p. 106). Dicho de otro modo, las diferentes historias de acoplamiento estructural de aves y primates han hecho emerger un mundo de datos relevantes que para cada cual es inseparable de su modo de vida. Sólo se requiere que cada una de las opciones sea viable, es decir, que sea una serie ininterrumpida de cambios estructurales (Varela 1990, p. 107).

La experiencia de un agente está caracterizada desde un inicio por determinados mecanismos neuronales innatos, que procesan la información recibida de los sentidos mediante unas reglas de procesamiento determinadas. Sin embargo, esta especificidad no debe hacer olvidar que los procesos perceptivos son resultado de la cooperación de múltiples sistemas neuronales que combinan la información sensorial con determinadas expectativas. Además, estas relaciones cooperativas dependen de la memoria filogenética de la especie, cuyo origen no es otro que la experiencia de múltiples agentes que se transmite de generación en generación, y que da lugar a una cierta estabilidad en los miembros de dicha especie, a pesar de sus diferencias estructurales y ontogenéticas.

No obstante, es importante para nuestros propósitos poner de manifiesto que los procesos perceptivos neuronales innatos dependen de un fondo interactivo y experiencial que tiene como condición de posibilidad la historia de acoplamiento estructural de los miembros de una especie en un entorno compuesto de elementos físicos que poseen una cierta permanencia. Los procesos neuronales que permiten interpretar la información recibida por los sentidos no puede comprenderse sin toda esta base experiencial e interactiva, como veremos en el apartado siguiente con las nociones de “affordances” y de contingencias sensorimotoras. De hecho, si esta base experiencial se ve alterada por alguna lesión, o por modificaciones del entorno artificiales producidas por un diseño experimental, este tipo de cooperaciones neuronales que parten de una cierta especificidad neuronal también se ven alteradas. En síntesis, la experiencia de un organismo parte de unas ciertas reglas de procesamiento de la información que la preceden, pero éstas a su vez son un resultado de la experiencia de un linaje biológico, y a su vez se mantienen en la medida en que la experiencia del agente se mantiene dentro de unos límites, y se ven alteradas si se modifican determinadas condiciones de la interacción entre organismo y entorno. Por lo tanto, a pesar de que la experiencia de un agente viene marcada por reglas innatas de procesamiento, éstas dependen de unas condiciones físicas e interactivas, y sólo se comprenden dentro de las mismas, siendo la experiencia previa a cualquier tipo de reglas computacionales, que en todo caso emergen de la misma.

A continuación pasaremos a detallar estas bases experienciales e interactivas de la percepción. Antes queremos apuntar algunas implicaciones epistémicas del análisis que hemos realizado hasta ahora acerca de la percepción humana. El hecho de que los miembros de una especie siguen unos patrones recurrentes de interacción con el entorno, salvo algunos casos de lesiones cerebrales o manipulaciones artificiales de las relaciones entre organismo y entorno, hacen que los miembros de una especie compartan un fondo experiencial común

basado en sus semejanzas corporales y en las propiedades permanentes de los diferentes elementos de su entorno (Neisser 1981, p. 178). Esto parece ser compatible con una cierta "objetividad", entendida como una "intersubjetividad" extensible a todos los miembros de una especie, aunque sea relativa a procesos perceptivos básicos, como pueda ser la percepción del color. Más tarde ahondaremos sobre esta cuestión, pero antes abordaremos el estudio de la teoría de la percepción directa de Gibson, y el desarrollo que Noë y O'Regan hacen de la misma, donde se enfatiza la base experiencial e interactiva de la cognición, dejando de lado cualquier interpretación representacional de la misma.

2.2. 'AFFORDANCES' Y CONTINGENCIAS SENSORIMOTORAS

La hipótesis del procesamiento de la información desarrollada por los modelos representacionalistas en ciencias cognitivas para explicar la percepción visual se enfrentaba al problema de la pobreza del estímulo visual. La idea principal es que la estimulación ocular da lugar a una imagen que se proyecta en la retina, conocida como imagen retiniana, con unas características muy diferentes a las de nuestro mundo visual. La imagen retiniana está invertida con respecto a la "realidad" tal y como la percibimos en nuestra vida cotidiana. Además, ya que tenemos dos ojos, recibimos dos entradas de información sensorial que producen dos imágenes retinianas ligeramente distintas, debido a la ubicación diferencial de cada ojo. Esto choca con nuestra percepción del mundo visual, integrada y no invertida. En segundo lugar, la imagen retiniana es más detallada en el centro que en la periferia, siendo borrosa en la misma; es inestable, dados los movimientos sacádicos oculares; consta de un punto ciego, debido a la ausencia de fotoreceptores en dicho punto, ya que existen fibras nerviosas que obstruyen el paso de la luz en la generación de la imagen; es bidimensional, y más pobre en la periferia desde un punto de vista cromático. Finalmente, la luz se propaga temporalmente, de forma que la imagen no se genera de un modo inmediato (Noë 2010, pp. 170-171).

Debido a las diferencias evidentes entre la imagen retiniana y la percepción humana del mundo visual, la psicología cognitiva ha desarrollado el modelo del procesamiento de la información que hemos presentado en el subapartado anterior. Este modelo postula unas reglas innatas de computación que permiten operar sobre la información recibida por los sentidos para generar un nuevo tipo de información interpretada que da lugar a la percepción del mundo visual tal y como lo percibimos. Esta teoría también permite explicar por qué los seres vivos cuentan con una especificidad neuronal innata para la detección de ciertos rasgos y de aspectos del mundo especialmente relevantes para la supervivencia (como en el caso de los seres humanos, la capacidad tan temprana de interpretar gestos faciales y del reconocimiento de rostros).

Al final del subapartado anterior vimos que Varela propone una perspectiva alternativa, según la cual esta especificidad neuronal y estos mecanismos innatos de interpretación de la información sensorial no pueden desligarse de la base experiencial del linaje biológico, esto es, de la dinámica interactiva entre organismo y entorno, que da lugar a modificaciones estructurales transmitidas de generación en generación, que derivan en patrones recurrentes a

nivel sensorimotor, y mecanismos neuronales asociados a estos patrones recurrentes, que permiten interpretar la información de los sentidos, a la luz de la dinámica interactiva entre percepción y acción. En definitiva, a diferencia de los modelos del procesamiento de la información, que distinguen entre procesos de entrada, computación interna, y salida de la información, el planteamiento de Varela sitúa la interpretación del mundo visual en una dinámica circular de percepción y acción, que un organismo particular hereda como algo innato, debido a la estabilización previa de su linaje biológico a nivel interactivo. Esto es, no existen reglas de procesamiento de la información al margen de estos patrones de acoplamiento estructural a nivel sensorimotor. Por tanto, debemos buscar una explicación alternativa de la generación del mundo visual, que esté de acuerdo con esta primacía de la experiencia sobre los procesos cognitivos.

La teoría de la percepción directa de Gibson nos permitirá ofrecer esta explicación alternativa, más acorde con el tipo de propuesta elaborado por Varela. Gibson diferencia entre el mundo visual y el campo visual. El mundo visual consiste en la escena familiar y corriente de la vida cotidiana, en el cual los objetos sólidos parecen sólidos, los objetos cuadrados parecen cuadrados, las superficies horizontales parecen horizontales, etc. (Gibson 1974, pp. 47-48). Para Gibson, este tipo de experiencia debería ser el objeto de estudio por explicar en psicología. Sin embargo, la mayoría de las veces, debido al tipo de estudios y diseños experimentales realizados en el ámbito de la percepción visual, en los que se mantiene inmóvil al sujeto experimental y se le muestran estímulos simples, como figuras geométricas, sobre un fondo completamente uniforme, sin contrastes de formas o profundidades, no se han ocupado del mundo visual, sino del campo visual (Gibson 1947, 1986).

Para percibir el campo visual, el agente debe fijar sus ojos en un punto prominente y luego no prestar atención a ese punto, como es natural, sino a toda la extensión de lo que puede ver, manteniendo siempre fijos los ojos. Puede cerrar un ojo a continuación, y observar la escena sólo con el otro ojo. El resultado es la percepción del campo visual, que tiene propiedades distintas a las del mundo visual. Es menos familiar que el mundo visual. Gibson critica a los estudios sobre la percepción por haber estudiado el campo visual como si se tratara del mundo visual, extendiendo las conclusiones del primero sobre el segundo. El campo está limitado, en tanto que el mundo no lo está. El campo puede cambiar en su dirección-desde-aquí, pero el mundo no cambia. El campo está orientado en relación a la gravedad, y es una escena en perspectiva, en tanto que el mundo es euclidiano. Los objetos del mundo visual tienen forma en profundidad y se los ve a unos detrás de los otros, en tanto que las formas en el campo son aproximadamente sin profundidad. En el campo visual, estas formas se deforman durante la locomoción, al igual que el campo entero, en tanto que en el mundo permanece constante y es el observador quien se mueve (Gibson 1947, pp. 66-67).

El campo visual, que guarda ciertos paralelismos con la imagen retiniana, es muy diferente al mundo visual, ya que sus superficies aparecen con límites borrosos. En este sentido, los experimentos destinados a estudiar el campo visual han favorecido la necesidad de postular reglas de procesamiento de la información neuronales para explicar la percepción

visual a partir de este tipo de información. Sin embargo, Gibson abandona la artificiosidad de estos diseños experimentales para estudiar la percepción visual tal y como tiene lugar en la vida cotidiana, en la que los objetos guardan múltiples relaciones entre sí, y el agente mueve sus ojos y el resto de su cuerpo en el medio, obteniendo una gran cantidad de información del entorno, y generando el mundo visual tal y como lo percibimos. En el entorno de la vida cotidiana, los agentes perciben objetos mediante la vista, el tacto, y el resto de modalidades sensoriales; se mueven alrededor de los objetos, explorándolos desde múltiples perspectivas, y hallando invariancias a lo largo de esta exploración dinámica sostenida en el tiempo. La percepción del mundo visual es, para Gibson, el resultado de esta relación dinámica y temporal entre las sustancias del entorno y el agente en movimiento (Gibson 1986, p. 32).

En dicho entorno, las pautas de luz se distribuyen a lo largo de las superficies. Esta distribución ofrece un determinado gradiente de textura (Gibson 1947, 1986). La ubicación de determinados objetos en el gradiente de textura es en muchos casos suficiente para averiguar la profundidad de los objetos y la distancia de unos con respecto a otros. Además, existen otras claves, como las relaciones de movimiento entre unos objetos y otros, que dan información con respecto a la distancia relativa de dos objetos. Otro de los aspectos a tener en cuenta para comprender la percepción del mundo visual por parte del agente es que, además de los movimientos de los objetos, el mismo agente lleva a cabo una exploración activa del medio. De este modo, la percepción visual del mundo conlleva indisociablemente la conciencia o percepción de uno mismo, y del movimiento del propio cuerpo (Gibson 1986, p. 126).

La teoría de la percepción directa de Gibson sostiene, pues, que la constante interacción e interdependencia entre el movimiento del agente y el medio circundante es el fondo experiencial e interactivo desde el que emerge la percepción del mundo visual, con las propiedades que éste posee en nuestra percepción cotidiana. Esta percepción visual se halla siempre relacionada con la experiencia multisensorial del organismo en acción, mediante la cual capta otras propiedades de los objetos y las superficies de su entorno. La dinámica multisensorial de percepción y acción del organismo en su entorno es la base de la percepción del mundo visual, y, por tanto, ésta no tiene lugar en el cerebro, sino más bien en la totalidad del organismo, cuya actividad guía la exploración del entorno. La función de la visión, por ejemplo, no sería por tanto la de producir representaciones internas de la realidad, sino la de guiar la acción del perceptor en contacto con las características de su entorno y los objetos que lo componen (Gibbs 2006, p. 43).

Tal y como defendía Varela, la percepción no se ocupa de representar rasgos de “la realidad”, sino de generar un horizonte de sentido viable para un agente, en función de sus contingencias sensorimotoras y sus necesidades como organismo vivo. En palabras de Gibson, el agente no percibe rasgos de la realidad, sino ‘affordances’, u oportunidades para la acción. Las “affordances” son propiedades tomadas con referencia al observador. Ellas no son ni puramente físicas ni puramente fenoménicas. Son un resultado de la interacción entre las propiedades físicas de las superficies y sustancias del entorno y las necesidades y

características corporales del agente. Las posibilidades del entorno y el modo de vida del animal van juntos inseparablemente. (Gibson 1986, p. 143).

El modelo experiencialista que proponemos en esta parte de nuestro trabajo parte de esta aproximación a los procesos perceptivos. La base dinámica e interactiva entre organismo y entorno a nivel sensorimotor es el fondo desde el cual se generan los procesos perceptivos, y se estabilizan como patrones recurrentes y expectativos acerca de los objetos que lo componen. Sólo cuando estos patrones recurrentes se estabilizan en un linaje biológico se adquieren por parte de los nuevos miembros de una especie como procesos de cooperación neuronal 'innatos'. De este modo, el modelo experiencialista parte de los cimientos de la cognición, esto es, desde los procesos perceptivos y el papel que la corporalidad y la interacción con el entorno juegan en la consecución de los mismos. Ya que la percepción es, según esta teoría unificada, la madre de los procesos cognitivos (Neisser 1981, p. 29), esta aproximación a la percepción supone una nueva concepción de los actos mentales, que dejan de pertenecer al ámbito interior y privado de la mente, y al ámbito de "lo dado". No es ni el objeto ni el sujeto lo que es primario, sino las relaciones entre ambos (Welton 2000, p. 17).

Noë y O'Regan han desarrollado la denominada teoría de las contingencias sensorimotoras, cuyas ideas fundamentales son próximas a las de Gibson. Estos investigadores llevan a cabo además un conjunto de experimentos interesantes que nos permitirán dar aún más peso a la teoría de Gibson con respecto a las teorías del procesamiento de la información, y mostrar que, dentro de esta relación bidireccional entre organismo y entorno, existe una asimetría del primero con respecto al segundo, de acuerdo con la teoría enactiva de la cognición, en la medida en que el agente genera su horizonte de sentido sobre la base de su historia interactiva, y dota de este modo de significación a los objetos del mundo circundante.

La principal idea de la teoría de las contingencias sensorimotoras es que percibir es un modo de actuar en el mundo. La percepción no es algo que nos sucede, sino que hacemos de un modo activo. La percepción visual debería entenderse de un modo similar a la percepción táctil, en tanto que se da mediante la exploración continua, activa y temporal del entorno. La percepción depende de este modo de la posesión de determinadas habilidades corporales, que determinan lo que estamos capacitados para hacer en el mundo. Ser un perceptor significa, por tanto, entender, implícitamente, los efectos del movimiento en la estimulación sensorial que recibiremos en cada momento. Un objeto parece más grande cuando nos aproximamos a él, y su forma se modifica cuando nos movemos en torno a él. Un sonido suena más alto si nos aproximamos a la fuente del mismo. Los movimientos de la mano sobre un objeto dan lugar a sensaciones cambiantes. Como perceptores, somos conocedores de este tipo de dependencias sensorimotoras. De un modo automático, movemos nuestro cuerpo alrededor de los objetos y tenemos ciertas expectativas de las estimulaciones sensoriales que recibiremos como resultado de estos movimientos. Por tanto, la habilidad de percibir el mundo visual, como el resto de modalidades sensoriales, está constituida por la posesión de este tipo de conocimiento sensorimotor, implícito y preconsciente (Noë y O'Regan 2004, pp. 1-2).

Esta teoría, cercana a las de Varela y Gibson, lleva consigo la cuestión de lo que sucedería si este conocimiento de las dependencias sensorimotoras entre agente y entorno se vieran alteradas. En primer lugar, veamos el ejemplo utilizado por Maturana y Varela en el caso de un animal. Si cogemos un sapo y le ponemos un gusano delante, tira la lengua en un ángulo perfecto hacia la presa. Por el contrario, si rotamos el ojo 180º, descubrimos que, al taparle el otro ojo, el sapo dirige su lengua exactamente con una desviación correspondiente. Este hecho pone de manifiesto que el sapo no representa la realidad en términos de coordenadas, sino que la percepción consiste en coordinar los cambios percibidos del exterior con procesos interactivos determinados. No existen para el sapo el arriba o el abajo, el adelante o el atrás como referentes absolutos del mundo exterior. Lo que hay es una correlación interna entre el lugar donde la retina recibe una estimulación determinada y las contracciones musculares que mueven la lengua, la boca, el cuello, y en último término todo el cuerpo del sapo (Maturana y Varela 1989, p. 107).

De este modo, se pone de manifiesto que la percepción es un producto de las dependencias sensorimotoras entre estimulación sensorial y acción, y que la alteración de estas relaciones produce efectos significativos en la percepción del entorno por parte del organismo. Otro ejemplo, esta vez en el ámbito de la especie humana, se da en lo que Noë y O'Regan denominan "ceguera experiencial" (*experiential blindness*). Si la percepción dependiese del procesamiento de la información de ciertas neuronas específicas a partir de la estimulación sensorial, sin tener en cuenta la actividad del organismo como un todo en su medio circundante, una persona que fuera operada de cataratas congénitas recuperaría su capacidad de visión sin mayor problema. Sin embargo, testimonios como los de Cheselden (1728), Hoffman (2000, p. 43) y Oliver Sacks (2001), ponen de manifiesto que esto no es así.

Pacientes que han sido operados de cataratas congénitas expresan un enorme "disconfort" ante esta nueva experiencia de recibir estimulación visual del entorno, porque no conocen las dependencias sensorimotoras pertinentes para completar la percepción del mundo visual. Estas personas no son capaces de emitir juicios adecuados relacionados con las distancias de los objetos, y expresan la sensación de que todos los objetos que ven están tocando sus ojos, igual que lo que palpa toca su piel. Además, interpretan los cuerpos sólidos como planos multicolores, y son incapaces de reconocer por la vista diferentes objetos o animales que sí reconocen fácilmente mediante el tacto. En definitiva, sin el fondo experiencial e interactivo desde el que emerge la percepción del mundo visual, ésta no se produce, a pesar de que el agente reciba información sensorial del entorno.

En otro experimento, de lentes invertidas, se construían lentes de tal forma que la luz de los objetos ubicados a la izquierda del agente entraba al ojo como si procediera de objetos ubicados a la derecha. Así, un objeto situado a la izquierda estimularía el lado derecho de la retina, y también el lado derecho del cerebro, que son los lados de la retina y el cerebro que normalmente se activan con la luz recibida por parte de los objetos ubicados a la derecha del agente. Lo razonable, atendiendo a la hipótesis del procesamiento de la información, es que en tal caso el agente tendría la experiencia de estar percibiendo un objeto que se halla ubicado a

su derecha (Noë 2004, p. 7). Sin embargo, el sujeto experimentaba una especie de "ceguera experiencial", y le hacía moverse alrededor de la habitación como un ciego. Sólo al cabo de un tiempo, los sujetos experimentales habían desarrollado las habilidades de movimiento en la habitación propias de las personas videntes. Las lentes invertidas habían supuesto unos nuevos patrones de dependencias sensorimotoras. Sólo al adquirir el dominio de estas nuevas dependencias podía decirse que los sujetos recuperaban la vista. A pesar de la existencia de cierta especificidad neuronal, las lentes invertidas suponían un reajuste de los patrones de cooperación neuronal asociados al dominio de las nuevas dependencias sensorimotoras. Estos resultados experimentales también favorecen la hipótesis de que los mecanismos neuronales específicos dependen de la historia de acoplamiento estructural entre agente y entorno, y de la historia de acoplamiento del linaje biológico, así como de los patrones de cooperación neuronal asociados.

El último ejemplo que nos interesa destacar es el de los programas de sustitución sensorial (TVSS). Este tipo de experimentos han sido llevados a cabo con personas ciegas, a quienes se les conecta una cámara situada en la cabeza o el hombro. La información visual de esta cámara se conecta a los grupos neuronales que se encargan del movimiento de alguna parte del cuerpo, como pueda ser el estómago o el intestino. Al cabo del tiempo, la persona recupera en el desempeño de sus actividades el equivalente a un 80% de visión aproximadamente, y pueden incluso coger objetos lejanos o golpear una pelota de ping pong con la raqueta (Noë 2010, pp. 71-92). Una vez más, son las nuevas dependencias sensorimotoras aprendidas por el agente las que determinan los patrones de cooperación neuronal, que a su vez asignan a cada subsistema neuronal sus funciones específicas.

Hasta ahora hemos visto resultados experimentales que nos permiten reforzar la tesis experiencialista según la cual la percepción del mundo visual, así como del resto de modalidades sensoriales, depende de la actividad y la exploración del agente en su entorno, y de los patrones de cooperación neuronal asociados a esa actividad y a la del linaje biológico. La alteración de este fondo experiencial supone cambios radicales en la percepción.

A continuación exploraremos un caso de lo que Noë y O'Regan denominan 'ceguera inatencional' (*inattentional blindness*) para argumentar que la experiencia del agente, desde la cual emerge la percepción del mundo, depende también de mecanismos atencionales que determinan qué contingencias sensorimotoras se ponen en juego en cada caso, y qué extracción de la información está capacitado a obtener el agente.

En un estudio en el que se indicaba a un grupo de personas que contasen el número de veces que unos jóvenes se pasaban un balón de baloncesto, a la gran mayoría de los sujetos se les pasaba por alto la presencia de un hombre disfrazado de gorila y realizando movimientos cómicos justo en el medio de la imagen. La gente quedaba sorprendida cuando, en un segundo visionado, y previa indicación de los experimentadores, advertían la presencia del gorila (Noë 2004, pp. 35-74). La no percepción del gorila indica que, a pesar de recibir las estimulaciones de luz de las superficies del entorno, un agente sólo percibe aquello que le permiten las contingencias sensorimotoras que pone en juego en cada ocasión, de modo que

cada agente explora el mundo según sus mecanismos atencionales, y puede dar lugar a un mundo visual diferente al de otro agente con mecanismos atencionales distintos.

Los resultados de este experimento, y las conclusiones que pueden extraerse en cuanto a la importancia de los mecanismos atencionales a la hora de explorar el entorno y de extraer información del mismo, nos permiten volver a reflexionar sobre las implicaciones epistémicas de la teoría unificada experiencialista que estamos contribuyendo a desarrollar. En el subapartado anterior pudimos comprobar que el acoplamiento estructural de los miembros de un mismo linaje biológico generan patrones globales de cooperación neuronal asociados a patrones de exploración y acción 'innatos' comunes. Esto nos llevó a la conclusión de que los miembros de una especie habitan un mundo compartido, en la medida en que disponen de un sentido común generado por la historia de acoplamiento estructural del linaje biológico, que da lugar a patrones de cooperación neuronal recurrentes y similares entre los diferentes organismos de la misma especie. Sin embargo, también vemos que la experiencia depende del conocimiento de las dependencias sensorimotoras por parte de cada agente, que puede verse afectado en el caso de lesiones o modificaciones de las relaciones habituales entre organismo y entorno, y que los mecanismos atencionales de cada agente también determinan la percepción de un mundo u horizonte de sentido que puede variar de un agente a otro de la misma especie. Por tanto, en la medida en que los procesos perceptivos emergen de un fondo experiencial, y éste se halla en las relaciones entre organismo y entorno, antes que en alguno de estos dos polos, la percepción (y, por ende, la cognición) es parcialmente subjetiva, y parcialmente objetiva.

Además, en la medida en que el mundo visual de cada agente depende de su exploración activa y sus mecanismos atencionales, existe una asimetría entre el polo subjetivo y el objetivo de la experiencia, a pesar de que ésta esté limitada por las características físicas del entorno. Esto se ve aún más claro cuando analizamos las diferencias perceptivas y de acción de diferentes agentes humanos según la experiencia acumulada en un dominio determinado, que implica un nivel de conocimiento de las dependencias sensorimotoras en cada caso, y unas diferencias, por tanto, en la capacidad de extraer información y de desempeñar ciertas actividades. Por ejemplo, a pesar de la base tricromática compartida por la especie humana, algunos esquimales pueden discriminar mayores tonalidades del color blanco, y utilizan una terminología más rica al respecto, que miembros de otras culturas, menos familiarizados con distintos matices de este color, y con diferentes tipos de superficies blancas de nieve.

De un modo similar, los pigmeos que viven en densos bosques tropicales donde los objetos distantes raramente son visibles, cometen errores absurdos cuando por primera vez detectan una manada de animales en el horizonte (Neisser 1981, p. 79).

Dentro de una misma cultura, también existen diferencias notables en diferentes dominios interactivos. Por ejemplo, en el contexto del fútbol, los guardametas inexpertos tienen graves errores defensivos al juzgar erróneamente cuál será la trayectoria de una pelota lanzada por otro participante en el juego e incluso los conductores novatos tienen grandes

dificultades para adivinar si el coche cabrá en un espacio de aparcamiento. Con la práctica, tales habilidades se desarrollan hasta un punto que parece extraordinario al no iniciado (Neisser 1981, p. 79).

La percepción, considerada como la base de los demás procesos cognitivos, tiene sus raíces en la experiencia del organismo, que es un producto de la interacción del agente y su entorno, los patrones de cooperación neuronal asociados a la historia de acoplamiento estructural de su linaje biológico, el conocimiento de las dependencias sensorimotoras con las características físicas del entorno, los mecanismos atencionales que modulan y determinan las expectativas y la exploración activa del agente, y el nivel de habilidad adquirido en cuanto a la coordinación de percepción y acción en diferentes dominios interactivos.

De este modo, hemos cubierto dos de las exigencias fundamentales propuestas para una teoría unificada de la cognición. En primer lugar, permite dar cuenta de una de las propiedades de la cognición humana, como es la base corporal e interactiva de la misma, tal y como apuntaba la tercera generación en ciencias cognitivas presentada al final de la parte anterior. Por otro lado, pone esta característica de la cognición humana como base del resto de procesos cognitivos y propiedades de la cognición, comenzando la casa por sus cimientos, y permitiendo así la elaboración de una teoría que no explique los procesos cognitivos superiores desligados de su base interactiva y dinámica, como sucedía con el modelo simbólico y el conexionista.

En segundo lugar, la teoría unificada que proponemos, sitúa la experiencia como base de toda cognición y, al ser ésta un producto de la relación asimétrica entre agente y entorno, más que de la realidad “en sí” o de las estructuras mentales del agente (como sucedía en la Concepción Heredada y la Nueva Filosofía de la Ciencia, respectivamente), conlleva unas implicaciones epistemológicas propias, ya que no es un modelo ni puramente subjetivo ni puramente objetivo. Esta tensión epistémica de la teoría experiencialista de la cognición nos acompañará hasta el final de esta parte, y nos servirá como guía para explorar el papel privilegiado de la actividad científica como un elemento fundamental de la objetivación de la experiencia y la cognición humanas.

Lo que haremos a continuación, tras haber analizado el papel primigenio de la corporalidad y la interacción en una teoría unificada y experiencialista de la cognición, es abordar, desde las bases de esta teoría unificada, otras propiedades de la cognición humana mencionadas en la primera parte, como es la influencia del contexto y los propósitos e intenciones del agente, y la generación de patrones globales de activación que determinan las relaciones de semejanza que constituyen las bases de la generación de sentido.

2.3. EL CICLO PERCEPTIVO: EXPERIENCIA, INTENCIONES Y GENERACIÓN DE SENTIDO

Las teorías de Gibson y Noë y O’Regan sobre la percepción visual nos han permitido analizar este proceso desde una base experiencial, corporal e interactiva de la misma. Sin embargo, el énfasis en el acoplamiento estructural entre las condiciones físicas del entorno y

las contingencias sensorimotoras del organismo no alcanza a explicar de un modo satisfactorio las diferencias intersubjetivas entre diferentes agentes en cuanto a sus procesos atencionales y sus habilidades en el desempeño de determinadas actividades en ciertos dominios interactivos.

Para poder comprender estas diferencias entre agentes de una misma especie, equipados con recursos sensoriales y cerebrales similares, que reciben la misma información óptica de las superficies del entorno, debemos buscar en las diferencias ontogenéticas, o las distintas historias interactivas entre ellos, que dan lugar a la generación de mundos de significación distintos. Por ejemplo, en el caso de la experiencia visual, ésta es necesariamente óptica y consiste en patrones de luz en el espacio y el tiempo, tal y como describe Gibson. Sin embargo, la información óptica puede especificar objetos y eventos a varios niveles de abstracción y significado (Neisser 1981, pp. 38-43).

Imaginemos el caso de la percepción de una sonrisa. Ya ha quedado apuntado que los miembros de la especie humana tienen unos mecanismos neuronales innatos para el procesamiento de información de los rostros, adquiridos a través de la historia de acoplamiento estructural del linaje biológico. Sin embargo, con el tiempo, cada agente desarrolla múltiples tipos de exploración de los rostros humanos, dependiendo de los mecanismos atencionales que pone en juego en cada caso. Si tomamos el caso de una sonrisa, un agente puede fijarse en la forma de los dientes de la persona, si le parecen sucios, raros o llamativos de cualquier modo, mientras que otro puede atender a los movimientos de los labios, si le parecen sensuales. También se puede atender a la sonrisa a un nivel de mayor generalidad, situándola en el contexto intencional de la conversación y realizando inferencias sobre el estado anímico de la persona.

Cuando percibimos su estado anímico, nos hallamos en una dinámica exploratoria diferente a la que llevamos a cabo cuando atendemos a los dientes o los movimientos labiales. En cada caso, desarrollamos una serie de anticipaciones o expectativas, y extraemos información que se extiende a lo largo de un intervalo diferente de tiempo. En resumen, no usamos la información con los mismos propósitos y como resultado de ello recordamos los acontecimientos de un modo diferente (Neisser 1981, pp. 58-88).

Neisser denomina ciclo perceptivo a estas series de anticipaciones y muestreos del entorno que se enmarcan dentro de una exploración que responde a unos propósitos determinados, y pone los mecanismos atencionales y dependencias sensorimotoras pertinentes en marcha para extraer la información del entorno que le permita satisfacerlos. La teoría del ciclo perceptivo de Neisser sostiene que los agentes dirigen su actividad exploratoria mediante esquemas anticipatorios que guían el muestreo o la extracción de la información relevante en cada contexto y según el propósito del agente en un momento dado de su dinámica interactiva. A su vez, los cambios en el entorno modifican los esquemas anticipatorios, hasta que se produce un ajuste o encuentro entre las anticipaciones del agente y la información del entorno.

La teoría de Neisser es compatible con las de Gibson y Noë y O'Regan, en la medida en que todas se basan en la dinámica interactiva del agente en su entorno, y la relación entre

las estimulaciones sensoriales y la actividad del organismo guiada por las expectativas de las estimulaciones sensoriales que espera hallar en cada caso. Sin embargo, introduce el elemento de los esquemas anticipatorios dentro del modelo experiencialista de la percepción. Los esquemas anticipatorios se desarrollan con la experiencia (Neisser 1981, pp. 74-75), en función de la historia interactiva de cada agente. Por tanto, es compatible con el hecho mencionado anteriormente de que la percepción no sólo depende de las pautas de luz del entorno y las características corporales del organismo y los patrones neuronales cooperativos que posee como miembro de una especie, sino que también de las habilidades adquiridas por cada agente en diferentes dominios interactivos. Además, y lo que más nos interesa ahora, los esquemas anticipatorios guían la extracción de la información en cada momento, en función del propósito del agente en el contexto en el que se encuentra. Por tanto, consisten en patrones de exploración que cambian con la experiencia y los cambios de propósito y contexto, y varían de un sujeto a otro.

En este sentido, el ciclo perceptivo involucra a todo el organismo en interacción con su entorno, y un esquema anticipatorio es la porción del ciclo perceptivo interno al perceptor, modificable por experiencia y de algún modo específico a lo que se percibe. El esquema acepta la información en la medida en que ésta incide sobre las superficies sensoriales y es transformado por esa información; dirige los movimientos y las actividades exploratorias que permiten tener acceso a ulterior información, por la cual resulta nuevamente modificado (Neisser 1981, pp. 67-68).

El modelo del ciclo perceptivo de Neisser nos permite explicar, desde un marco experiencialista, compatible con la idea de que los procesos perceptivos emergen de la interacción dinámica entre agente y entorno, las diferencias de extracción de información perceptiva de diferentes agentes de la misma especie, en función de sus diferentes niveles de habilidad a nivel de coordinación sensorimotora, así como las diferencias debidas a los propósitos y mecanismos atencionales, cambiantes entre agentes distintos, o en un mismo agente a lo largo del tiempo.

Para seguir desarrollando las bases de una teoría unificada y experiencialista de la cognición, debemos ver cómo las nociones de ciclo perceptivo y de esquema anticipatorio permiten dar cuenta de otras propiedades de la cognición mencionadas. Desde un punto de vista biológico, un esquema es una parte del sistema nervioso. Es alguna organización activa de estructuras y procesos. Sin embargo, a diferencia de los modelos clásicos centrados en el cerebro, no se limita a un centro del cerebro, sino que un esquema constituye un sistema completo que incluye referentes y aferentes, unidades proactivas y eferentes (Neisser 1981, pp. 67-68). En definitiva, los esquemas anticipatorios envuelven el sistema nervioso en su globalidad, incluyendo la totalidad del organismo, y de sus acciones potenciales en el medio.

Esta idea de Neisser halla un respaldo notable en las investigaciones recientes y las interpretaciones consiguientes del funcionamiento del sistema nervioso. Inspirado originalmente en la propuesta de Maturana y Varela, cada vez hay más acuerdo en torno a la idea de que el sistema nervioso une las superficies sensoriales (tanto de los órganos como de

las terminaciones nerviosas) y efectores (músculos y glándulas) dentro del cuerpo. De este modo, el sistema nervioso integra al organismo, manteniéndolo como una unidad móvil a lo largo del tiempo, esto es, como un agente sensorimotor autónomo. El sistema nervioso establece y mantiene un ciclo sensorimotor, y cómo uno se mueve depende de cómo siente. En los últimos tiempos, está cobrando una mayor importancia esta aproximación al estudio del sistema nervioso, que guarda grandes semejanzas con las ideas de Neisser y una teoría experiencialista de la cognición, según la cual la percepción emerge de las relaciones sensorimotoras dinámicas entre actividad neural, cuerpo y mundo (Thompson 2007, pp. 243-244).

De este modo, tal y como sostiene Neisser, y tal y como venimos apuntando, la actividad interna del organismo a nivel neuronal es sólo una de las partes desde las cuales se produce la percepción del organismo, y sólo puede comprenderse en el marco de la relación interactiva entre agente y entorno. Esta idea del sistema nervioso como parte integrante de un sistema más complejo que envuelve la actividad de un agente sensorimotor en un entorno está inspirada en los modelos biológicos desarrollados por Maturana y Varela (1989).

Para estos autores, el sistema nervioso consiste en una red interneuronal cuya función es fundamentalmente acoplar las superficies sensoriales y motoras en un todo organizado y funcional (Maturana y Varela 1989, p. 136). La configuración de estas redes interneuronales puede ser muy variada, especialmente en organismos de mayor complejidad y posibilidades de acción en el entorno gracias a sus estructuras corporales. En los gusanos, por ejemplo, el tejido nervioso constituido por una red de neuronas ha sido separado por un compartimento dentro del animal, con nervios por donde pasan conexiones que vienen y van de las superficies sensorial y motora.

Los cambios motores del animal serán siempre resultado de la actividad de esta red interneuronal coordinada. A su vez, esto generará cambios múltiples en células sensoriales, y otras partes internas del cuerpo, en un proceso realizado por medio de cambios en la misma red de neuronas (interneuronas). De esta manera, hay una continua correlación sensorimotora determinada y mediada por la configuración de actividad de esta red interneuronal. Como puede haber una cantidad, prácticamente ilimitada, de estados posibles dentro de esta red, las conductas posibles del organismo pueden ser, también, prácticamente ilimitadas (Maturana y Varela 1989, p. 136).

Los seres humanos son, de hecho, los organismos más complejos desde este punto de vista, ya que poseen un sistema nervioso central muy desarrollado que media la dinámica interactiva entre agente y entorno. Por ejemplo, pongamos el caso de una motoneurona que da lugar a la contracción de un músculo que resulta en un movimiento cuando algunas neuronas de la piel detectan sensorialmente una determinada presión. Como esta correlación está mediada por el sistema nervioso del organismo, el agente cognitivo puede emitir conductas como la de no retirar la mano a pesar de sentir la presión, estableciendo un nuevo balance interno (Maturana y Varela 1989, pp. 119-152), si los propósitos y la situación lo requieren.

Después de lo visto hasta ahora, haremos un breve resumen de las ideas principales antes de continuar. La cognición tiene como base los procesos perceptivos del agente. Éstos emergen de la experiencia, esto es, la dinámica interactiva entre agente y entorno. Por lo tanto, está determinada por las relaciones entre las propiedades de los objetos del mundo circundante, los patrones globales de cooperación neuronal que el agente posee como herencia de la historia de acoplamiento estructural de su linaje biológico, y las habilidades sensorimotoras específicas desarrolladas por cada agente particular a lo largo de su historia interactiva. De este modo, la percepción de un mundo significativo para el organismo depende sólo parcialmente de la extracción de información como miembro de una especie, y, por otra parte, de su historia ontogenética.

Además, la extracción de información también viene determinada por los esquemas anticipatorios que se ponen en juego en cada contexto y en función de los propósitos del agente en cada momento de su ciclo perceptivo. Esto es así gracias a la variabilidad de la red interneuronal que conecta las superficies sensora y motora en un agente determinado, que posibilita un abanico prácticamente ilimitado de posibilidades de conducta. Por lo tanto, la experiencia del organismo está mediada por los patrones de activación del sistema nervioso que guían sus esquemas anticipatorios. En este sentido, la teoría unificada y experiencialista de la cognición a la que estamos contribuyendo da cuenta de otra de las propiedades de la cognición mencionadas en la primera parte, a saber, que se configura a través de patrones de activación neuronal que permiten reconocer determinadas invariancias del entorno.

Por otro lado, sería un error considerar que estos patrones de activación neuronal que constituyen los esquemas anticipatorios del organismo se dan de forma aislada e independiente del resto. En efecto, existen múltiples solapamientos entre diversos esquemas anticipatorios (y, por tanto, entre distintos patrones de activación neuronal), a lo largo del tiempo. Recordemos que los esquemas anticipatorios guían la exploración del entorno generando patrones de activación neuronal que envuelven la totalidad del organismo. Sin embargo, estos patrones se componen de susbsistemas o grupos neuronales que se encargan de extraer un tipo de información determinado (Varela 1990, Varela, Rosch y Thompson 1991, Damasio 1999, 2005, 2006), gracias a la herencia de nuestro linaje biológico, y siempre que se mantengan unas condiciones de acoplamiento estructural normales dentro de la historia de nuestra especie (de los cuales quedan fuera los casos de ‘ceguera experiencial’ analizados anteriormente).

Por tanto, los diferentes esquemas exploratorios utilizan mecanismos neuronales que se solapan entre sí, y que atienden a cierto tipo de información, según los propósitos del agente y sus procesos atencionales. Por ejemplo, si estamos intentando utilizar algún objeto para coger algo que se nos ha caído debajo del sofá, ya que no podemos alcanzarlo con las manos porque el hueco es demasiado fino, pondremos en marcha determinados patrones de activación neuronal que se centrarán en aquellos grupos neuronales encargados de extraer información sobre la forma de los objetos. De este modo, nuestros esquemas atenderán al

tamaño, longitud, anchura, textura, forma y dureza de un objeto, dejando de lado otros aspectos como el color, sabor, olor, etc.

En función de este esquema anticipatorio compuesto de patrones neuronales determinados, procederemos al muestreo del entorno, comparando los diferentes objetos en función de los criterios interactivos relevantes para el caso, y dejando de lado los demás. No atenderemos a si un palo tiene el mismo color de una manzana, porque es totalmente irrelevante, y nos centraremos en las semejanzas que tienen los objetos entre sí en función de los criterios interactivos mencionados. Dicho de otro modo, los esquemas anticipatorios dependen del propósito del agente en cada momento de su ciclo perceptivo, y se componen de patrones de activación neuronal que anticipan la extracción de un determinado tipo de información, dejando de lado la información irrelevante, y comparando los patrones neuronales que genera la exploración de los objetos del entorno en comparación con el esquema del objeto buscado, escogiendo el objeto que mayor semejanza guarde con el objeto deseado y anticipado por nuestro esquema, en relación a los criterios interactivos seleccionados por el mismo.

Las relaciones de semejanza entre diferentes patrones de activación de la red interneuronal no son asociaciones mecánicas de elementos atómicos de la realidad, al modo como propone un asociacionismo clásico, sino que se trata de un tipo de asociaciones intencionales, que emergen de la experiencia del agente desarrollada a lo largo del tiempo en su dinámica interactiva, así como de sus habilidades sensorimotoras específicas, y de sus propósitos cambiantes a lo largo del tiempo. Las experiencias asociadas recíprocamente fortalecen y se refuerzan mutuamente, de modo que unas experiencias determinadas generan unas anticipaciones de sentido, en función de la experiencia de cada agente. Las experiencias tempranas se asocian a experiencias más tardías y son evocadas por ellas, sobre la base de sus semejanzas relativas a determinados criterios interactivos, y éstas a su vez motivan la anticipación de lo que sucederá según el sentido que el agente dé a la situación gracias a su experiencia acumulada (Bernet, Kern y Marbach 1993, p. 202).

3. EXPERIENCIA, PERCEPCIÓN Y PROCESOS COGNITIVOS

3.1. PLANES DE ACCIÓN SIN CATEGORÍAS

La aproximación a los procesos perceptivos desde una perspectiva experiencial nos permite extraer una serie de implicaciones directas en torno a los procesos cognitivos. Comencemos por el caso de la conceptualización. Los modelos clásicos de la conceptualización humana en ciencias cognitivas se han inspirado mayormente en la perspectiva tradicional, ya sea en su versión del paradigma simbólico o desde una aproximación conexionista. En ambos casos, se plantea la categorización o conceptualización del mundo como el resultado de estructuras internas de la mente o el cerebro que permiten representar las propiedades de determinados objetos y clasificarlos en relación a estas propiedades.

En el caso del paradigma simbólico, tuvimos ocasión de ver las redes semánticas de Quillian, que simulaban la organización de la memoria mediante nodos conceptuales que representaban objetos de la realidad y que poseían propiedades definitorias de estos objetos (Best 2000, pp. 175-206). Por otro lado, las redes conexionistas utilizaban un procesamiento en paralelo que conectaba neurodos que representaban microrasgos de diferentes objetos. De este modo, cada objeto significativo quedaba representado por unos patrones de conexión específicos, y se relacionaban entre sí por el grado de semejanza del valor de las conexiones de cada patrón. En cualquier caso, ambos modelos parten de la base de que el cerebro o la mente posee estructuras representacionales que se corresponden con aspectos del mundo que conceptualizan.

La aproximación experiencial a la cognición parte de una base distinta a la representacional. Los agentes no categorizan la realidad para actuar en ella, sino que sus acciones dependen de los aspectos de la experiencia que hemos mencionado hasta el momento. Pongamos por caso el ejemplo del color. Las dos interpretaciones predominantes en ciencias cognitivas al respecto han sido, por un lado, que los agentes procesan el color captando rasgos objetivos del entorno como la longitud de onda de la luz proyectada en diferentes superficies, o que el lenguaje determina las estructuras cognitivas en cuanto a la percepción cromática del entorno, de modo que cada lenguaje impone unas estructuras representacionales diferentes en relación al horizonte cromático (Gardner 2000, pp. 348-350, Johnson y Lakoff 1999, pp. 23-30).

Una vez más, nos encontramos en el estudio de la cognición con los dos polos, subjetivo y objetivo, que han dado lugar a tantos debates ya clásicos en el ámbito de la epistemología y, consiguientemente, en filosofia de la ciencia (Maturana 1995-1996, Johnson y Lakoff 1999). En el caso de la aproximación experiencialista, la percepción del color depende, en primera instancia, de las propiedades físicas de los objetos y las pautas de luz que proyectan. Sin embargo, no dependen menos de los patrones de cooperación neuronal del agente en tanto que miembro de una especie determinada. Además, la percepción del color depende de la historia interactiva individual de cada agente, que determina su nivel de habilidad en la discriminación de tonalidades o matices de diferentes colores, dentro de unas bases tricromáticas comunes. Finalmente, el contexto también modifica los patrones de activación de la red interneuronal que da lugar a los esquemas anticipatorios en cada caso, como en el ejemplo propuesto por Varela, y mencionado anteriormente, según el cual la percepción del color de una figura cambia en función de la percepción del color del trasfondo.

Por otro lado, los propósitos cambiantes del agente cognitivo, sus procesos atencionales, y los planes de acción en cada caso, también están en la base de la generación de sentido y la significación otorgada a los objetos del entorno. Por ejemplo, las interacciones con una cama van desde dormir en ella, hasta moverla, hacerla, así como, bajo circunstancias especiales, como pueda ser la realización de un experimento psicológico, clasificarla bajo la categoría “mobiliario”. Por tanto, nuestra experiencia ordinaria con los objetos no precisa

clasificarlos (Gibbs 2006, p. 84), sino que implica determinados planes de acción en diferentes momentos de la dinámica interactiva.

En este sentido, el proceso de asignar objetos o estímulos a categorías se basa en una aproximación artificial de la cognición humana, desligada de la base experiencial de la que emerge. Por ejemplo, ¿se identifica una silla como tal detectando la presencia de ciertas características críticas, comparando el estímulo con una plantilla prototípica para las sillas, o quizás sintetizando un modelo interno de silla y comparándolo con un estímulo? Según lo visto hasta ahora, la percepción no es sencillamente una cuestión de asignar objetos a categorías.

El desarrollo de un esquema anticipatorio en una ocasión particular es única, porque depende de un flujo de estimulación que habla en el tiempo. Por tanto, no hay un momento aislado en que percibamos una silla, ni tampoco un momento en que la reconozcamos como tal. Probablemente no la categoricemos en absoluto a menos que la situación lo requiera. Nos podemos sentar en ella, evitarla, apartarla de nuestro camino, buscar en sus cojines un objeto que hayamos perdido, o notar que no encaja con el resto de muebles de la habitación, todo esto aún sin denominarla verbalmente, ni para nosotros mismos ni para nuestros interlocutores. En cada una de estas actividades, nuestra percepción de la silla funciona de un modo diferente (Neisser 1981, pp. 86-87).

Más adelante veremos que la conceptualización de los objetos del entorno no forma parte del repertorio de procesos cognitivos básicos de un agente, tal y como hemos argumentado, pero en el caso de los seres humanos emerge como proceso cognitivo distinto a los procesos del resto de organismos, en la medida en que cuenta con artefactos como el lenguaje, entre otros, y participa de ciertas prácticas culturales que transforman las estructuras del mundo que habitamos. Antes nos ocuparemos del análisis de procesos cognitivos como la memoria, la imaginación o el razonamiento.

3.2. ESQUEMAS DESLIGADOS DEL CICLO PERCEPTIVO

Además de la categorización de la realidad, las ciencias cognitivas se han ocupado de otros procesos como la memoria, la imaginación o el razonamiento. En estos casos, la aproximación hegemónica ha sido la representacionalista, y por tanto ha estado presente en los diferentes modelos y propuestas. A pesar de que en ocasiones estos modelos se han concebido como contrapuestos, han mantenido en común las bases representacionalistas (Thompson 2007, pp. 267-311). A este respecto, existe un debate clásico entre Kosslyn y Pylyshyn en torno a la naturaleza de la imaginación humana (Gardner 2000, pp. 323-339). Por un lado, Kosslyn sostenía, a la luz de algunos resultados experimentales, que los seres humanos generamos imágenes mentales que exploramos con el “ojo de la mente”, y que son analógicas respecto a aquello que representan. Según Kosslyn, estas imágenes guían nuestros razonamientos. Por ejemplo, si tengo que imaginar una isla con dos objetos a diferentes distancias, y me dicen que visualice el desplazamiento a alguno de ellos, llegaré antes al que está más cerca en mi imagen mental (Gardner 2000, pp. 323-339, Gibbs 2006, pp. 124-138).

En su última etapa, Kosslyn buscó los patrones neuronales analógicos a la imagen mental que se estaba realizando por parte del sujeto (Thompson 2007, pp. 267-311).

Al otro lado, tenemos las tesis de Pylyshyn, para quien las imágenes mentales, como el resto de procesos cognitivos, consisten fundamentalmente en estructuras simbólicas con las que la mente opera mediante reglas computacionales. Son estas reglas las que guían los procesos mentales y las inferencias extraídas en la resolución de un problema. En este sentido, para Pylyshyn, el desplazamiento de una parte de la imagen mental a otra no llevaría más o menos tiempo en función de la distancia, ya que a nivel computacional la mente procesaría estos desplazamientos como operaciones computacionales sobre estructuras simbólicas abstractas, que no guardaban ningún tipo de semejanza con la realidad representada (Gardner 2000, pp. 323-339; Thompson 2007, pp. 267-311).

El experimento de la imagen mental de la isla, junto con otros similares, parecen dar la razón a la hipótesis de Kosslyn (Gardner 2000, pp. 323-339). Sin embargo, existen otras explicaciones para estos resultados experimentales que son mucho más próximas a las bases del experiencialismo, ya que parten de la idea de que la imaginación depende de la experiencia sensorimotora de nuestra actividad en el mundo. Es un hecho demostrado que la imaginación, así como la memoria o el razonamiento, implican la activación de áreas sensorimotoras (Damasio 1999, 2005, 2006; Gibbs 2006, pp. 124-138; Thompson 2007, pp. 243-381; Jeannerod 2006; Neisser 1981, pp. 129-148). A continuación presentaremos una posible propuesta que permita casar estos procesos cognitivos con las bases experiencialistas estudiadas hasta ahora.

El modelo experiencialista que estamos proponiendo en este apartado concibe la percepción del entorno como base de los demás procesos cognitivos. Por tanto, la dinámica interactiva con el entorno presente para el organismo se convierte en el aspecto crucial desde el cual desarrollar cualquier tipo de proceso mental. Sin embargo, una teoría de la cognición unificada tiene que abordar procesos cognitivos que se desarrollan más allá del entorno presente, como puedan ser la memoria, la imaginación o el razonamiento. De hecho, la mente humana oscila constantemente entre lo real y lo imaginario, llevando en muchas ocasiones a cabo procesos mentales abstraídos del entorno circundante (Thelen y Iverson 1999, p. 37). Veamos la base experiencial de estos procesos cognitivos desligados de la interacción con el entorno.

Imaginemos que vemos un gato detrás de un coche. La capacidad de emitir un juicio como el que acabamos de realizar, esto es, categorizar un conjunto de estímulos como un gato, depende del acceso a cierta información del entorno sobre la base de nuestro conocimiento implícito de las dependencias sensorimotoras. Es decir, de acuerdo con la teoría de las contingencias sensorimotoras de Noë y O'Regan, sé que estoy percibiendo un gato porque, dada la estimulación que estoy recibiendo del entorno, conozco la información que podría extraer si me moviera alrededor del coche, o si el gato se moviese y pudiera verlo en su integridad (Noë 2010, p. 64). Conozco estos patrones de dependencia sensorimotora sobre la base de mi historia interactiva con el entorno. La percepción, tal y como ha sido presentada,

combina de este modo la información presente con la información ausente, pero potencialmente accesible gracias al conocimiento implícito de determinadas contingencias sensorimotoras establecidas a lo largo de nuestra historia interactiva.

En este sentido, toda nuestra dinámica interactiva, que relaciona constantemente la estimulación sensorial con expectativas sobre la base de la información que podríamos obtener mediante distintas acciones motoras, se compone de imágenes sobre lo que va a suceder, o lo que estamos buscando. Un objeto que refleja luz de un modo uniforme será percibido como potencialmente duro al tacto, mientras que una manta cálida y peluda refleja luz de modo poco uniforme. Percibir una superficie llana quiere decir que ésta da lugar a un conjunto de posibilidades de movimiento. En cada caso, la percepción envuelve imaginar lo que sucedería al tocar un objeto, cogerlo con las manos, rotarlo, golpearlo, olerlo, etc. En este sentido, hay estudios que ponen de manifiesto que los pre-escolares pueden clasificar objetos animados a pesar de las variaciones posturales entre ellos. Es plausible que esto sea así por la capacidad de los niños a muy temprana edad de imaginar modos en que cada objeto sea físicamente manipulado sin alterar su identidad (Gibbs 2006, p. 64).

En resumen, la parte del ciclo perceptivo que tiene que ver con los procesos internos del sistema nervioso o, en palabras de Neisser, con los esquemas anticipatorios, implican mecanismos mentales de anticipación de la extracción de determinada información según planes de actividad motora específicos. Anteriormente utilizábamos el ejemplo de alguien que genera un esquema anticipatorio compuesto por un patrón de activación de un objeto que reúna unas características determinadas que lo hagan apto para alcanzar alguna cosa que había quedado atrapada debajo del sofá. En este caso, el esquema anticipatorio implica imaginar unas determinadas acciones para alcanzar la cosa deseada, y estas acciones requieren de un objeto con unas características determinadas. A partir de la simulación interna de este plan de acción motora, se lleva a cabo el muestreo del entorno para extraer un tipo de información que satisfaga el hallazgo de un objeto similar al que formaba parte de la simulación de actividad motora en el esquema.

Lo interesante de todo esto para el tema que estamos tratando es que los esquemas anticipatorios que forman parte del ciclo perceptivo pueden ser separados de éstos. La separación de estos esquemas anticipatorios del ciclo perceptivo donde se hallan “empotrados” constituye la base de todos los procesos cognitivos superiores, como son la imaginación, la planificación o el razonamiento (Neisser 1981, pp. 42-43). Por lo tanto, las imágenes mentales son derivados de la actividad perceptiva, en la medida en que son las fases anticipatorias de esa actividad, esquemas desligados del ciclo perceptivo del que formaron parte, para ser utilizados con otros propósitos. De este modo, la imaginación tiene sus raíces en la experiencia del agente, ya que cuando alguien describe una imagen mental, aquello que descubre no existe en algún área separada y oscura de la mente, sino que es una cosa real o potencialmente perceptible del mundo (Neisser 1981, pp. 131-133).

Gracias a la participación en prácticas culturales, especialmente la del lenguaje, los agentes humanos son capaces de desarrollar propiedades mentales emergentes como la

conciencia extendida y el yo (Damasio 1999, 2005, 2006, Maturana y Varela 1989, pp. 177-210), y la imaginación de mundos posibles, así como razonamientos abstractos y estructurados que se ajustan a reglas formales. Esto se ve claramente en el desarrollo de la imaginación de los niños. En un principio, los niños hablan sólo sobre cosas que perciben o hacen en realidad, o, como mucho, que anticipan el futuro inmediato. Los esquemas perceptivos se anclan firmemente en la información accesible, del mismo modo que las palabras.

Sin embargo, en etapas posteriores de desarrollo, aprenden a descomponer el ciclo perceptivo, separando sus anticipaciones de la información estimular que originalmente las generó y confirmó y situándolas en otros esquemas por otras razones. Así, adquiere progresivamente la habilidad adulta de anticipar cosas perceptivamente sin esperarlas en realidad; por ejemplo, de imaginar que lo que se sabe que suele pasar podría no suceder (Neisser 1981, p. 166).

Es precisamente en la participación en las prácticas culturales donde buscaremos el modo de explicar cómo una teoría experiencialista puede integrar de forma coherente y sistemática el resto de propiedades cognitivas mencionadas en la primera parte que nos falta por tratar e incluir en nuestra propuesta de teoría unificada. Veremos, en última instancia, cómo el lenguaje refleja toda esta dinámica experiencial, y el modo en que se convierte en un puente entre la experiencia y la cognición, que tiene como resultado la transformación de las propias estructuras materiales del mundo, y de acoplamiento estructural entre agente y entorno, transformando así la propia experiencia desde la que surge.

3.3. PULSO EPISTÉMICO ENTRE LOS POLOS SUBJETIVOS Y OBJETIVOS DE LA EXPERIENCIA Y LA COGNICIÓN

A lo largo de estos dos últimos subapartados hemos tenido la oportunidad de mencionar los aspectos que guían la experiencia que un agente tiene de su entorno y que se sitúan en la base de sus procesos perceptivos, y, a su vez, de las raíces perceptivas de los procesos cognitivos, hallando de este modo en la percepción un puente entre experiencia y cognición.

Desde un punto de vista epistémico, la teoría experiencialista se ubica en un lugar intermedio entre el polo objetivo, defendido por la Concepción Heredada, y el subjetivo, más próximo a las tesis de la Nueva Filosofía de la Ciencia. En primer lugar, hemos visto que la experiencia depende parcialmente de la estimulación sensorial recibida por los objetos del entorno y sus propiedades físicas. En este sentido, la experiencia tiene una dimensión objetiva. Sin embargo, también hemos visto que la percepción está mediada por los patrones globales de cooperación neuronal del agente, en tanto que heredero de la herencia de la historia de acoplamiento estructural de su linaje biológico. En este sentido, cada linaje biológico constituye una opción viable de acoplamiento estructural con el medio, de modo que cada especie vive inmersa en un horizonte de sentido común distinto. Es decir, la experiencia depende de las estructuras físicas del mundo, pero está mediada por la historia de nuestro linaje, de modo que

conforma una intersubjetividad extensible a todos los miembros de la especie, más que una objetividad.

Siguiendo con los elementos de la experiencia que hemos estudiado, cada agente de una especie determinada tiene un nivel de habilidad en el manejo de las contingencias sensorimotoras, y un nivel de coordinación distinto en distintos dominios, según su historia interactiva y aprendizaje a nivel ontogenético. Esto aumenta las diferencias intersubjetivas en cuanto a la experiencia del mundo y a la generación de sentido. Además, los niveles de habilidad pueden cambiar en un mismo agente a lo largo del tiempo. Del mismo modo, cada agente tiene intenciones y propósitos cambiantes en contextos distintos, y esto hace que los procesos atencionales medien en su experiencia única de cada situación particular. Así, existen diferencias intrasubjetivas a lo largo del tiempo, lo que aumenta las diferencias entre diferentes sujetos de una misma especie, e incluso con habilidades sensorimotoras similares en un dominio determinado, que pueden hallarse en un mismo contexto pero estar percibiendo el mundo según los procesos atencionales que demanden los propósitos de cada uno de ellos. Diferentes propósitos implican diferentes patrones de activación de la red interneuronal, y, por tanto, diferentes esquemas anticipatorios que exploran relaciones de semejanza distintos sobre la base de diversos criterios interactivos.

Todos estos aspectos de la experiencia son fundamentales para comprender los procesos perceptivos de los agentes, y también el resto de procesos cognitivos, que emergen a partir de la percepción. Como hemos visto, según la hipótesis del experiencialismo, los agentes no categorizamos la realidad mediante estructuras simbólicas o prototipos, sino que otorgamos significados cambiantes a los elementos del entorno según los propósitos y planes de acción que llevamos a cabo en cada caso a lo largo de nuestra experiencia dinámica y temporal. Por otro lado, los procesos cognitivos superiores, como la imaginación o la planificación, surgen cuando el agente desliga los esquemas anticipatorios del ciclo perceptivo del que formaban parte. Esto quiere decir que cada agente establece una dinámica interna única que dota de significación a los elementos del entorno en función de los propósitos y planes de acción, y de la constante relación entre procesos perceptivos y procesos imaginativos que sitúan al agente en un ‘monde propre’ (Hutchins 2011).

Por lo tanto, a pesar de la dimensión objetiva de la experiencia, ésta está mediada por múltiples elementos que hacen que el polo subjetivo de la misma sea ineliminable, e incluso que pueda hablarse de una asimetría entre agente y entorno, en la medida en que la dinámica interna del agente es la que da lugar a la emergencia de un mundo de significación y a la generación de sentido (Thompson 2007; Froese y Ziemke 2009).

El ejemplo de Hutchins de los tripulantes de un barco que se encargan de la correcta navegación permite entender perfectamente este punto. Hutchins describe un proceso cognitivo en el que tiene lugar la aparición de una idea repentina que ayuda a solventar un problema de la tripulación del barco. Hutchins argumenta que, a pesar de compartir un entorno material común, y de poseer unos conocimientos similares a los del resto de la tripulación y a los de él mismo como antropólogo (Hutchins es un investigador instruido en estas materias),

sólo se puede comprender la emergencia de esta idea en la mente del navegante atendiendo a lo que él llama su 'Phenomenal Object' (Hutchins 2011). Éste emerge de la dinámica temporal y multimodal única de este navegante, en la medida en que combina la interacción con artefactos del entorno, como el mapa, que representa la zona donde se halla el barco, el compás, la calculadora, la regla y el cartabón, etc., con procesos imaginativos, que permiten realizar anticipaciones e inferencias de las posiciones futuras del barco, según se sigan unas trayectorias u otras, a partir de estas interacciones con los elementos del entorno.

En resumen, el navegante está inmerso en una experiencia propia de la situación que combina elementos perceptivos y cognitivos, y que combina las estructuras físicas del entorno y sus propiedades con los patrones neuronales y esquemas anticipatorios que se ajustan a sus propósitos y niveles de habilidad en el manejo de los artefactos del entorno y la coordinación de los mismos. La experiencia de este navegante es, en última instancia, única e intransferible, y es a partir de ésta desde la que constituye su 'Phenomenal Object' (Hutchins 2011).

A pesar del aparente desequilibrio de la balanza hacia el polo subjetivo de la experiencia, no hay que olvidar que el ciclo perceptivo siempre pasa por el muestreo y la extracción de información del mundo, de modo que la dimensión objetiva de la experiencia vuelve una y otra vez. No hay que olvidar en ningún caso que todos vivimos en un mundo de objetos, cosas que poseen superficies, normalmente opacas, resistentes al tacto, rígidas, por lo general móviles, de varios colores, etc. La información que especifica tales propiedades es accesible a cualquier organismo que posea esquemas para extraer esta información. Esta información, además, tiene una gran significación adaptativa (difícilmente sería posible la supervivencia sin ello, al menos para animales mayores); de ahí que no sorprenda que los miembros de una especie tengamos muchos esquemas en gran medida compartidos (Neisser 1981, pp. 178-179).

Por otro lado, a la dimensión objetiva de la experiencia se añade una dimensión intersubjetiva, en la medida en que nuestra experiencia común no incluye únicamente el ambiente físico. En efecto, vivimos en una cultura coherente, cada vez más globalizada, y esto quiere decir que hemos encontrado una colección más o menos estandarizada de experiencias sociales, y de esquemas compartidos asociados a las mismas. Esperamos que la gente conduzca, coma o se mueva (Ingold 2008) de un modo determinado porque hemos visto hacerlo así desde siempre. Desarrollamos anticipaciones de conductas comunes del mismo modo que desarrollamos anticipaciones de otros eventos, y los percibimos en el mismo sentido cíclico. Estos esquemas culturalmente establecidos mediatizan nuestra percepción de la conducta de otras personas y son también la razón fundamental de nuestras conductas.

Esto no basta para predecir todas las conductas de cada individuo, ni para asumir que la experiencia de los miembros de una misma cultura sea radicalmente idéntica, pero sí para pronosticar hechos cotidianos y establecer patrones comunes entre los diferentes agentes que forman parte de ella (Neisser 1981, p. 179). Por ejemplo, cuando nos movemos por una ciudad, todos exploramos el entorno atendiendo a unas mismas estructuras materiales, previamente diseñadas, para estructurar y dar orden a los espacios y lugares que la componen. Todos

utilizamos las mismas claves de extracción de la información, como mapas, carteles con nombres de lugares y distancias, líneas de metro donde podemos conocer los trayectos de cada línea, etc. Además, el conocimiento de las dependencias sensorimotoras que se desarrollan para ubicarse y moverse en una ciudad son parcialmente transferibles a otra, debido a las enormes semejanzas entre ellas en cuanto a las señalizaciones y los medios de transporte (Noë 2010, pp. 108-110). Gracias a la participación en prácticas culturales comunes, y al uso de artefactos tecnológicos y representacionales comunes, habitamos un horizonte de sentido hasta cierto punto intersubjetivo o compartido.

Este último punto también nos indica que la dimensión interubjetiva de la experiencia no sólo se da en la participación de prácticas culturales y el uso de artefactos compartidos, sino que la transformación del entorno efectuada por los seres humanos le permite extraer información distinta del entorno, que muchas veces permite muestrear los esquemas anticipatorios distintos, e incluso compatibles, hasta alcanzar esquemas y patrones de activación cada vez más similares. En este sentido, la percepción está dirigida por expectativas, pero no está controlada por ellas, sino que implica la adquisición de información real. Los esquemas ejercen sus efectos seleccionando ciertos tipos de información en detrimento de otros, pero no fabricando falsos perceptos e ilusiones.

El dicho de ver la botella medio llena o medio vacía según el estado de ánimo no implica que alguno de los dos esté equivocado, sino que cada uno de ellos verá confirmado su estado emocional por lo que ha visto. Sin embargo, si el ambiente es lo suficientemente rico como para confirmar más de un punto de vista alternativo las expectativas podrían tener sobre lo percibido efectos acumulativos irreversibles, hasta que el ambiente cambiara. Pero los ambientes cambian, y más aún, son cambiados por nuestra acción en el mundo, y de este modo desatan las ataduras que nos imponen viejas formas de observación (Neisser 1981, pp. 58-59).

En este sentido, la intersubjetividad es en muchos casos fruto de una actividad, de una adquisición obtenida en un proceso más o menos deliberado de transformación del entorno y nueva extracción de información. La intersubjetivación como acción deliberada se lleva a cabo en muchas ocasiones mediante el lenguaje, y adquiere su máxima expresión en la actividad científica, que, según el modelo de la dinámica de las prácticas científicas, tiene como meta la objetivación de dominios interactivos a partir de dominios objetivados, entendiendo la noción de objetivación como intersubjetivación compartida por los miembros de la especie humana.

Veamos con algo más de detalle el papel mediador de la experiencia que tiene la participación en estas prácticas culturales y el uso compartido de artefactos tecnológicos y representacionales, como el lenguaje, y cómo esta participación y uso compartido contribuyen a dotar a la cognición humana de las propiedades que ésta posee, transformando y extendiendo los límites de la misma desde la base experiencial analizada hasta ahora, y alcanzando de este modo la intersubjetivación y objetivación de dominios interactivos diversos.

4. PRÁCTICAS CULTURALES Y EXPERIENCIA: EMERGENCIA DE LAS PROPIEDADES DE LOS PROCESOS COGNITIVOS SUPERIORES

Por el momento hemos dedicado las páginas de esta segunda parte al desarrollo de una teoría unificada de la cognición que parte de la experiencia del agente en su entorno, e intenta, desde esta base, dar cuenta de las diferentes propiedades de la cognición, de modo que éstas formen un todo sistemático y coherente, y estén de acuerdo con la premisa de que la cognición está, en última instancia, anclada en la experiencia de cada agente, como individuo, y como miembro de un linaje biológico que habita un mundo material.

Hemos podido analizar la relación entre la experiencia y los procesos perceptivos con propiedades de la cognición como su base corporal e interactiva, el papel modulador que ejercen los propósitos cambiantes del agente en diferentes contextos, los patrones de activación de la red interneuronal en la génesis de los procesos exploratorios del organismo, y las relaciones de semejanza entre diferentes criterios interactivos que guían la exploración en función de los propósitos del agente y los patrones de activación asociados. Finalmente, hemos podido comprobar que, desde el punto de vista del experiencialismo, los procesos cognitivos no consisten en módulos independientes que se llevan a cabo internamente por parte del organismo a partir de representaciones de la realidad que se han generado mediante procesos anteriores de entrada de información, con el fin de emitir una acción determinada en una tercera fase. Más bien, la misma dinámica experiencial conlleva múltiples planes de acción que determinan los cambios de significación que adquieren los elementos del entorno en cada caso, y que integran en el mismo ciclo perceptivo procesos cognitivos como la imaginación y la planificación.

Sin embargo, vimos que las prácticas culturales se convertían en un factor explicativo esencial para dar cuenta de la intersubjetividad de ciertos procesos interactivos y cognitivos de los agentes humanos, y que además permitían entender el alcance de la imaginación humana. Por tanto, debemos considerar el papel que estas prácticas culturales juegan a la hora de constituir nuestra experiencia, y de dotar a nuestros procesos cognitivos de propiedades que se han mencionado en la primera parte, y que no han sido integradas todavía en la teoría experiencialista que estamos contribuyendo a desarrollar en esta parte. Veamos el uso que han hecho algunos investigadores en ciencias cognitivas de la organización social y el uso de artefactos para explicar propiedades de la cognición como la sistematicidad de sus reglas computacionales en algunos procesos, o su carácter representacional.

4.1. MENTE EXTENDIDA Y COGNICIÓN SOCIALMENTE DISTRIBUIDA

Desde la emergencia y auge del paradigma conexionista en ciencias cognitivas, surgió una cuestión por parte de sus críticos, que ha generado un gran debate en la disciplina. Las redes conexionistas parecían emular mejor los procesos cerebrales que los programas basados en la hipótesis del sistema físico de símbolos. Por tanto, parecía acertado pensar que estas redes podían reflejar de un modo más fidedigno el modo como los seres humanos llevaban a cabo determinados procesos cognitivos y procesaban la información. Ya hemos

visto que las redes conexionistas resolvían con mayor éxito que los programas del paradigma simbólico problemas como el reconocimiento de patrones, y otro tipo de procesos cognitivos que se basaban en relaciones de semejanza y conexiones modificables por aprendizaje, más que en representaciones mediante estructuras simbólicas y la posesión de reglas computacionales con las que operar sobre ellas.

Sin embargo, estas redes manifestaban serios problemas para encarar algunas cuestiones relacionadas con nuestra cognición y nuestro lenguaje que el paradigma anterior era capaz de explicar y simular sin demasiados problemas. La composicionalidad del lenguaje, así como su sistematicidad, que suponían unas ciertas reglas mentales de procesamiento sintáctico, eran muy difíciles de simular mediante redes conexionistas que no reconocían las diferentes unidades atómicas de una oración, sino que generaban patrones para interpretar la oración (Fodor y Pylyshyn 1988). El problema para los simpatizantes del paradigma conexionista era, pues, el de dar cuenta de estas propiedades de la cognición humana sin abandonar los principios del conexionismo.

Una de las propuestas que más continuidad ha tenido en la disciplina es la de que las propiedades de la cognición relacionadas con su carácter simbólico y estructurado emergen a partir de la interacción de las propiedades de procesamiento distribuido en paralelo en interacción con la construcción y uso coordinado de artefactos. Por ejemplo, Rumelhart, McClelland y Smolensky dedican un artículo a explicar cómo era posible dar cuenta del razonamiento formal y secuencial aceptando los principios del procesamiento distribuido en paralelo. La solución que proponen estos autores es que la capacidad de resolver problemas lógicos no reside tanto en computaciones internas como en la manipulación del entorno y de las representaciones físicas externas.

Según discurre su argumentación, si el sistema de información humano realiza sus computaciones asentándose en una solución prototípica, más que aplicando operaciones lógicas, ¿por qué son tan inteligentes los humanos?, ¿cómo podemos hacer ciencia, matemáticas, lógica, etc.? Los autores sitúan la respuesta en la capacidad humana de crear artefactos, y utilizarlos para crear representaciones físicas que podemos manipular de forma sencilla para responder a problemas abstractos y formales (Rumelhart et al. 1986, p. 286).

Por ejemplo, al realizar una operación aritmética, hay que considerar el sistema cognitivo formado por el cerebro del agente y la manipulación de representaciones físicas externas mediante el uso de papel y lápiz, y no sólo la mente aislada del agente. De este modo, cada ciclo de operación implica primero crear una representación a través de la manipulación del entorno, y en segundo lugar procesar esta representación externa por medio de nuestro aparato perceptivo que lleva a una modificación posterior de esta representación mediante la actividad motora del agente. Es así como los seres humanos reducen, según esta perspectiva, un problema conceptual abstracto a una serie de operaciones muy concretas y en las que podemos llegar a ser muy competentes. Esta doble habilidad de manipulación y procesamiento del entorno se aplica a problemas de ciencia, ingeniería, etc. Los procesos emergentes de este sistema cognitivo dan lugar a un procesamiento simbólico real, y de este modo el entorno se

convierte en una extensión de la mente, en la medida en que permite generar procesos cognitivos simbólicos, mientras que el cerebro, por sí mismo, no podría realizar este tipo de procesos (Rumelhart et al. 1986, p. 288).

La idea planteada por Rumelhart y otros está inspirada en la psicología de Vygotsky (2003), y ha inspirado a diversos filósofos de la mente, dando lugar a tesis como la de la mente extendida (Clark 1997, 2001; Wheeler 2008), o la tesis de lo que Wilson denomina 'wide computationalism' (Wilson 2004). Estos autores utilizan ejemplos en los que se pone de manifiesto que los procesos cognitivos humanos no tendrían las propiedades que poseen, a menos que consideremos el papel funcional que juegan los artefactos que utilizamos en nuestra vida cotidiana. Por ejemplo, los blogs de notas son un elemento fundamental para entender las propiedades de nuestra memoria (Clark 1997, Wilson 2004). Otras investigaciones exploran el uso de representaciones externas para llevar a cabo procesos cognitivos, como en el caso de juegos como el Scrabble o el Tetris (Maglio et al. 1999), o la danza (Kirsh 2010), entre otros.

Estos filósofos de la mente, que defienden la tesis de la mente extendida, citan en sus obras las investigaciones etnográficas de Hutchins en la tripulación de un barco o el pilotaje de un avión, que han dado lugar a lo que se conoce como cognición socialmente distribuida. Hutchins sostiene tesis muy similares a las de la mente extendida, en la medida en que argumenta que los procesos representacionales y computacionales no son un producto de la mente aislada, sino de la interacción entre las propiedades cognitivas del cerebro humano en interacción con un medio representacional que simboliza aspectos de la realidad claves en el desempeño de la tarea en cuestión. Es en esta interacción donde se desarrollan los procesos cognitivos computacionales propios de nuestra especie, que se basan en redes conceptuales y semánticas y parten de estructuras simbólicas y de reglas computacionales de manipulación de esas estructuras para dar lugar a conductas adaptativas (Hutchins 1995). Además del uso de artefactos e instrumentos, Hutchins destaca en su obra el papel crucial de la organización social y la comunicación humana en la realización de estos procesos cognitivos, algo que no se había tratado con tanto detalle en el caso de la mente extendida.

En consonancia con las tesis de la mente extendida, Hutchins llega a la conclusión de que Turing se equivocó cuando asumió que su máquina estaba simulando procesos mentales. Más bien, las propiedades computacionales de la máquina no simulan la capacidad de la mente, sino la capacidad humana de interactuar con el entorno y manipularlo para dar lugar a un medio representacional y a ciertas operaciones en ese medio que acaban dando lugar a la capacidad de llevar a cabo razonamientos formales. Por tanto, el sistema físico de símbolos no es tanto el individuo o la mente, sino un sistema cognitivo general que engloba tanto los procesos cerebrales internos como las representaciones simbólicas externas y la organización social de los miembros del sistema. Sólo cuando el cerebro interioriza estas regularidades y las representa mediante patrones recurrentes de activación, los símbolos pasan de estar en el mundo a estar en la cabeza (Hutchins 1995, p. 370).

Las tesis de la mente extendida y la cognición socialmente distribuida son de especial interés para una aproximación experiencialista que aspira a convertirse en una propuesta de teoría unificada de la cognición, en la medida en que permite comprender algunas de las propiedades de la cognición humana que todavía no han sido integradas en el modelo que estamos proponiendo. Sin embargo, hay algunos puntos en los que difieren de nuestra teoría. Las tesis de la mente extendida y la cognición socialmente distribuida parten de la idea de que los procesos cognitivos superiores y sus propiedades emergen de la relación entre las propiedades computacionales del cerebro y las representaciones externas y artefactos. Sin embargo, no exploran la base experiencial, corporal e interactiva de la cognición, y de la participación en la organización social y el uso de artefactos. Dicho de otra manera, siguen sin buscar los cimientos experienciales de la cognición para buscar ahí una base firme, y se limitan a situar los procesos cognitivos superiores y sus propiedades fuera de la cabeza, en vez de dentro, sin cuestionarse las bases de los paradigmas clásicos (Di Paolo 2009).

El propio Hutchins, años después de la publicación de la obra donde presenta sus ideas mencionadas, manifiesta su insatisfacción con respecto a este modelo en la medida en que se centra en describir los artefactos e instrumentos utilizados por la tripulación, su desarrollo histórico, así como los procesos sociales y las propiedades cognitivas de estos procesos. Sin embargo, dice muy poco de los navegantes de carne y hueso que interactúan entre sí y con los artefactos. Esto es, los procesos cognitivos son presentados sin referencia al rol del cuerpo y su interacción con el entorno material y social, de modo que el modelo de la cognición socialmente distribuida, y el de la mente extendida, aparecen como extrañamente desligados de la corporalidad y la interacción entre agente y entorno (Hutchins 2006).

Por lo tanto, estamos de acuerdo en que las prácticas culturales y el uso de artefactos son factores clave a la hora de entender los procesos cognitivos humanos y sus propiedades, pero debemos anclar estas prácticas en las bases experienciales que hemos estado estudiando hasta ahora, y en las propiedades cognitivas asociadas a éstas, si queremos insertar las intuiciones de la mente extendida en una teoría unificada.

4.2. PRÁCTICAS CULTURALES Y TRANSFORMACIÓN DE LA EXPERIENCIA

La aproximación a los fenómenos sociales que plantean autores como Maturana y Varela conciben la generación de estos fenómenos de un modo similar a como explican la generación de un organismo metacelular, que es la condición de posibilidad de los sujetos corpóreos y la generación de un mundo propio de sentido por parte de dicho organismo. Un organismo se compone de un grupo de células que establecen entre sí un conjunto de operaciones recurrentes para mantenerse integradas a lo largo del tiempo, incluyendo en estas operaciones interacciones con el medio exterior, con el que guardan una relación mediada por una clausura operacional del organismo que lo diferencia respecto del medio (Maturana y Varela 1989, pp. 154-174). En un principio, para un organismo, otro organismo no es más que otro elemento del entorno que puede generar unas respuestas determinadas. Sin embargo, es posible que estas interacciones entre organismos adquieran a lo largo de su ontogenia un

carácter recurrente y que, por tanto, se establezca un acoplamiento estructural que permita el mantenimiento de la individualidad de ambos en el devenir de sus interacciones. Cuando se dan este tipo de acoplamientos intersubjetivos, se produce una interdependencia conductual entre los dos organismos que transforma la experiencia de ambos, dando lugar a prácticas culturales coordinadas (Maturana y Varela 1989, pp. 154-174, Thompson 2007).

Este tipo de prácticas culturales tienen lugar entre organismos muy diversos que poseen sistema nervioso. En el caso de los insectos sociales, por ejemplo, existen especies como las termitas, las avispas, las abejas o las hormigas. Entre ellas, las abejas poseen una popular "danza" que utilizan para comunicar al resto del grupo donde pueden hallar el polen. De este modo, las abejas coordinan sus acciones en el entorno para producir procesos cognitivos que son producto de la práctica cultural compartida, y que relaciona las experiencias de las diferentes abejas entre sí. Por otro lado, las hormigas mirmíceas poseen una variedad determinada de formas, disponiendo de diferentes morfologías en función del patrón de actividades que van a realizar dentro del grupo (Maturana y Varela 1989, p. 159). Es precisamente la coordinación de esta variedad morfológica entre diferentes agentes lo que permite un acoplamiento estructural satisfactorio con el entorno.

En el reino de los vertebrados, encontramos casos como el de los ungulados. Los grupos de animales de esta especie adquieren prácticas culturales que vehiculan sus patrones de acoplamiento estructural con el entorno. Cuando el grupo se desplaza por terrenos montañosos empinados, el macho dominante se sitúa a la cabeza, las hembras van detrás suyo, mientras que un grupo de machos se sitúa en la retaguardia, velando así por la seguridad del grupo, emitiendo una señal de aviso en caso de que fuera necesario. Al alcanzar la nueva altura, el macho que se encontraba en la retaguardia se une al grupo (Maturana y Varela 1989, p. 162).

Las prácticas culturales tienen, por tanto, sus bases en la coordinación de los patrones de percepción y acción de agentes que generan hábitos compartidos, y permiten desarrollar procesos perceptivos y cognitivos que irían más allá de las capacidades de un agente individual, aislado y separado del resto. En el caso de los seres humanos, las prácticas culturales también se inician a partir de esta coordinación experiencial a nivel sensorimotor. Tomasello analiza los fenómenos de atención conjunta (*joint attention*) entre un niño y un adulto como mecanismos que permiten al pequeño integrarse en el seno de las prácticas culturales de la comunidad a la que pertenece y debe integrarse (Tomasello 1999). A pesar de que en el caso de los seres humanos estas prácticas culturales están mediadas por artefactos tecnológicos y representacionales, no debemos olvidar esta base corporal e interactiva de las mismas (Bordieu 1999, Ingold 2000, Jackson 1983, p. 327), a partir de las cuales se puede comprender adecuadamente el papel de estos elementos en la generación de los procesos cognitivos humanos y sus propiedades.

4.2.1. PRÁCTICAS CULTURALES Y REDES DE SIGNIFICACIÓN

Las prácticas culturales son cosas que hacemos y suponen modos de estar en el mundo. Las prácticas culturales suponen una ecología cognitiva en la medida en que las prácticas de un agente están coordinadas con las prácticas de otros agentes. Es importante mantener en la memoria que las prácticas culturales no consisten en estructuras representacionales desligadas del cuerpo, sino que son patrones con una base corporal e interactiva que a su vez organizan la acción en contextos específicos (Hutchins 2008, p. 3).

Es a partir de esta coordinación de las prácticas de los agentes humanos de donde surgen las redes de significación compartidas, una de las propiedades más destacadas y analizadas por parte de la segunda generación en ciencias cognitivas, y una de las fuentes de inspiración de la noción kuhniana de paradigma.

Pues bien, el origen de estas redes de significación no es otro que el de la coordinación de la experiencia de agentes diversos, para dar lugar a un horizonte de sentido común en el que se hallan inmersos los miembros de una cultura desde su nacimiento y, por tanto, que tiene una influencia en la experiencia de los mismos en la constitución de sus procesos perceptivos y cognitivos.

Los análisis antropológicos de diferentes pueblos han llevado a los investigadores a la conclusión de que las convenciones sociales más relevantes para un grupo, como son, por ejemplo, sus rituales religiosos, consisten fundamentalmente en un conjunto de prácticas dirigidas a limitar las acciones del cuerpo, a orientar sus esquemas exploratorios. De este modo, los rituales institucionales se esfuerzan en inculcar los límites sociales o las clasificaciones sociales (Hutchins 2008, Ingold 2000, 2008). Estas clasificaciones sociales, que se originan con estas prácticas destinadas a moldear la experiencia de los agentes, repercute a su vez en la autopercepción y la identidad de cada agente de cara al grupo (piénsese, por ejemplo, en las categorías de raza y género) (Gallagher y Zahavi 2008, pp. 148-149).

Por lo tanto, las redes de significación compartidas que generan las sociedades o grupos humanos a partir de la estabilización de ciertas prácticas culturales coordinadas, son una propiedad de los procesos cognitivos humanos, y tienen su origen en la experiencia corporal e interactiva de los agentes, y a su vez vehicula esta experiencia de los miembros de la siguiente generación desde su nacimiento. A continuación veremos que estas prácticas culturales también se sitúan en la base experiencial de otra de las propiedades de la cognición que aparecieron en la primera parte, a saber, el carácter sistemático y estructurado de algunos de sus procesos. Lo más importante de este punto es que las redes de significación tienen su origen, al menos parcialmente, en patrones de acoplamiento estructural a nivel sensorimotor, que no dependen exclusivamente del lenguaje.

4.2.2. ESTRUCTURACIÓN Y SISTEMATICIDAD DE LA EXPERIENCIA Y LA COGNICIÓN

Ya que todos habitamos un mundo de objetos con propiedades de una cierta estabilidad en el tiempo, participamos de regularidades comunes, y tenemos unas estructuras

corporales y patrones de activación neuronal compartidas, debido a nuestra herencia como miembros de un mismo linaje biológico, nuestros patrones recurrentes de interacción con el entorno tienen una cierta estructuración común. Sin embargo, no es menos cierto que la experiencia de cada agente depende de su historia ontogenética, que implica niveles de habilidad propios en distintos dominios, y propósitos cambiantes que suponen patrones de activación globales específicos en la red interneuronal, que en el caso de los agentes humanos puede dar lugar a una gran variabilidad conductual (Maturana y Varela 1989, pp. 103-118). Por lo tanto, la estructuración de la interacción entre agente y entorno, y de los procesos cognitivos asociados, es muy débil, y las conductas de cada agente se hacen enormemente difíciles de predecir y pronosticar (Neisser 1981, pp. 169-184).

Las prácticas culturales, que penetran mediante la generación de redes de significación compartidas, permiten dar a nuestras interacciones con el entorno, y a nuestros procesos perceptivos y cognitivos, una estructuración mucho mayor que la que hemos dicho, adaptando estas interacciones y procesos a una serie de reglas que garantizan un cumplimiento sistemático de esta estructuración de la experiencia.

Mauss, otro antropólogo interesado por la importancia del cuerpo en la constitución de los pueblos, analiza la estructuración de diferentes grupos a partir de lo que él denomina 'técnicas del cuerpo'. Las técnicas del cuerpo son los modos en que los miembros de una sociedad aprenden a utilizar sus cuerpos por el hecho de participar de las prácticas culturales de dicha sociedad.

Mauss menciona una vivencia personal para ilustrar este concepto. Estando enfermo en un hospital de Nueva York, se percató de que las enfermeras andaban de un modo peculiar, distinto al andar de las chicas francesas, al que él estaba acostumbrado. Mauss recordaba haber visto este modo de andar de las enfermeras del hospital anteriormente, y cayó en la cuenta de que había sido en las películas americanas, que estaban adquiriendo cada vez mayor popularidad en su país. Tanto es así, que al volver a Francia, pudo comprobar que muchas chicas francesas caminaban de ese modo, gracias a la influencia de estas películas. Mauss llegó a la conclusión de que estas técnicas que estructuran el andar, determinando unas reglas precisas para las posiciones de los brazos y las manos, forman una idiosincrasia social, más allá de un plano meramente físico o individual[4].

A raíz de esta noción de Mauss, han aparecido estudios sobre el andar y otras prácticas como el nadar, e incluso el dormir. Mauss se estudia las diferentes maneras de nadar de los polinesios con respecto al modo europeo, los modos de andar en pueblos como las mujeres maoríes en Nueva Zelanda (en este caso, la madre increpaba a su hija cuando se olvidaba de hacer lo que denominan 'onioni', que consiste en un balanceo suelto de las caderas que los maoríes admiran, aunque para un europeo podría parecer un movimiento algo desgarbado (Mauss 1934, pp. 389-390)). Incluso en el dormir se hallan diferencias tan espectaculares como la que existe entre culturas como la nuestra, que utilizan asistencia

[4] Recientemente, Ingold ha llevado a cabo la edición de una obra donde se exploran los modos de estructurar el andar en diferentes culturas, y las implicaciones sociales que esta estructuración del andar lleva consigo (Ingold 2008).

instrumental para dormir, y otro tipo de grupos, que pueden dormir de pie, e incluso sobre un caballo (Mauss 1934, pp. 397-398).

El punto importante al que queremos llegar es que este tipo de estructuración de los usos del cuerpo, que pasa a guiarse por reglas explícitas que dotan al cuerpo de una sistematicidad en sus movimientos, lleva consigo una estructuración de los procesos perceptivos y cognitivos. Por un lado, porque nos permite realizar inferencias sobre un agente determinado por sus modales, o maneras de usar el cuerpo. Nuestra exploración de un agente percibe todas estas regularidades, que nos permiten hacer inferencias y tener ciertas expectativas acerca de su clase social, sus ideales, su profesión, su situación económica, su nivel cultural, etc.

Por otro lado, la estructuración y sistematicidad no sólo nos permite realizar inferencias sobre los demás, sino que determina la propia experiencia del agente que asume unas técnicas del cuerpo determinadas, vehiculando así sus procesos perceptivos y cognitivos. Una persona adiestrada dentro de una determinada categoría social, con unas técnicas del cuerpo determinadas, tendrá una valoración de otros agentes en función de la relación que guarden con la categoría social a la que pertenece.

4.2.3. SÍMBOLOS Y REPRESENTACIONES

Del mismo modo que las redes de significación y la estructuración y sistematicidad de la cognición humana, su carácter representacional y simbólico también tiene su origen en la estabilización de ciertas prácticas culturales coordinadas entre diferentes agentes, que vehicula la experiencia de los mismos. Todas las representaciones externas que forman parte del entorno humano tienen su origen en prácticas culturales. Por ejemplo, muchas de las prácticas que se llevan a cabo en la Iglesia, como la de la comunión o el bautizo, constituyen actos simbólicos que representan la recepción de Cristo, mediante la ingesta de la hostia sagrada y el vino (símbolo de la última cena) o el acto de mojar a un neonato con agua sagrada, bendecida por Dios, acto simbólico de compromiso con un nuevo estilo de vida alejado del pecado (Zubiri 1994).

La importancia de las prácticas culturales para representar o simbolizar determinados episodios relevantes para las redes de significación compartidas por los miembros de una cultura es aún más clara en grupos en los que el aprendizaje de los rituales iniciáticos, como en los kuranko de Sierra Leona, se anclan exclusivamente en la praxis corporal y la imitación de la misma, con nula o escasa intervención de elementos verbales (Jackson 1983). Este tipo de rituales condensan la mitología o cosmovisión de una cultura determinada, que queda representada mediante estas prácticas culturales coordinadas basadas en el uso del cuerpo.

En otro ámbito más cotidiano, las redes de significación compartidas por los miembros de una comunidad, ancladas en sus prácticas culturales y usos del cuerpo, permiten que un tipo de información represente información relativa a otro dominio. Por ejemplo, dentro de una misma cultura, el reconocimiento de los rostros va mucho más allá de la base biológica que permite discriminar determinados estados emocionales básicos, relacionados con funciones

adaptativas o de supervivencia. Las expresiones faciales ofrecen además información sobre el estado emocional, la intención subyacente a las palabras emitidas en una conversación, etc. Dicho de otro modo, el rostro se convierte en una representación de los estados mentales del otro (Gallagher y Zahavi 2008, pp. 148-149).

Finalmente, Hutchins propone un par de ejemplos de prácticas culturales donde la adquisición de habilidades corporales y exploratorias de un agente, mediante su participación en prácticas culturales, le permite representar ciertos aspectos del mundo como representantes de otros aspectos. Hutchins estudió el modo como los miembros de la isla Trobriand de Papua Guinea fijaban un calendario apto para guiar el trabajo de los agricultores (Hutchins 2008, pp. 3-4). Los patrones climáticos de la zona varian anualmente, de modo que los cambios climáticos son indicadores de los cambios estacionales de un modo inexacto y aproximado. Para fijar las tareas de recolección con un calendario estacionario, deben fijarse en el cielo. Los Trobriand son expertos en la observación y el reconocimiento de constelaciones estelares, y buscan en el cielo unas constelaciones determinadas, que indican que se acerca el comienzo del verano, momento apto para iniciar las tareas de recolección.

La búsqueda de esta colección de estrellas no es una tarea trivial, en la medida en que envuelve la búsqueda de unas estrellas que guían la exploración, e indican al experto los movimientos que debe realizar para alcanzar la constelación deseada. El experto establece de este modo una interacción con el cielo, esquivando obstáculos como puedan ser las nubes, mediante los movimientos de su cuerpo, y buscando unas estrellas sobre la pista dejada por otras. Para este experto, y gracias a la experiencia acumulada por él y por sus antecesores a través de la interacción con el cielo y su exploración, la disposición de las estrellas representa un mapa a través del cual puede leer y anticipar los cambios de estación, adaptando la agricultura de la zona a los mismos (Hutchins 2008, pp. 3-4). En todos los casos mencionados, la red de significación instaurada en una sociedad mediante determinadas prácticas culturales conlleva que algunas de ellas se conviertan en representaciones simbólicas de otras.

4.2.4. INTERVENCIÓN EN EL MUNDO Y SU INFLUENCIA EN LOS PROCESOS COGNITIVOS

Nos falta por examinar un aspecto que ya ha aparecido al presentar las tesis de la mente extendida y la cognición socialmente distribuida, como es la influencia de los artefactos en la emergencia de ciertos procesos cognitivos humanos, pero esta vez conectando esta idea a las bases corporales e interactivas de la aproximación experiencialista.

La propuesta enactiva de Varela y Thompson enfatiza la codeterminación entre organismo y entorno en los procesos de acoplamiento estructural. En este sentido, priorizan la interacción sobre la representación, ya que consideran que la codependencia y la influencia recíproca entre un agente y el medio que habita son primarios y anteceden a cualquier representación o modelo de algún aspecto de la realidad (Varela et al. 1990).

Los agentes humanos transforman las estructuras materiales del mundo a lo largo de su dinámica interactiva con el entorno a niveles mucho mayores que el resto de especies.

Como el resto de animales, los seres humanos dejan rastros en los espacios donde se mueven, en función de las acciones que realizan (Noë 2010, p. 110). No obstante, existe una diferencia importante entre los seres humanos y el resto de especies, en la medida en que los primeros construyen todo tipo de artefactos para intervenir en su entorno, y ampliar su capacidad de acción en el mismo, además de construir edificios y realizar diseños del espacio compartidos que derivan en terrenos, ciudades, casas, templos y demás.

Muchos de estos artefactos suponen una extensión de nuestros procesos perceptivos y cognitivos. Ya hemos indicado el peso que tiene en la actividad científica la fenomenotecnia, o capacidad de generar y estabillizar nuevos fenómenos y efectos de la naturaleza que permiten hallar nuevas regularidades e invariancias (Hacking 1996, Ferreirós y Ordóñez 2002). Sin embargo, también en nuestra vida cotidiana hallamos artefactos que producen una extensión de nuestra experiencia.

La transformación de nuestra experiencia perceptiva ha sido analizada desde la fenomenología clásica. Filósofos como Heidegger ponían de manifiesto que objetos como un martillo eran asimilados según los modos en que los humanos se proyectan en sus prácticas laborales. Desde la perspectiva de los usos del cuerpo, Merleau-Ponty mostró el proceso a través del cual se incorpora la tecnología en casos como el bastón de un ciego (Noë 2010, p. 105-108). En el primer caso, puede sentirse la dureza de un clavo a través del martillo, aunque no la temperatura.

En el caso de un ciego que se ayuda de un bastón, la persona siente el bastón, aunque no haya terminaciones nerviosas en él, aunque el bastón sea un pedazo de madera. Esto permite a la persona interactuar de forma dinámica con el entorno a través de la práctica y habilidad en el uso de este artefacto, que le dota de una sensibilidad especial para detectar las características del suelo, o de lo que pueda encontrarse a su paso. De un modo similar, los conductores llegan a sentir dónde está la parte trasera del coche cuando retroceden en un aparcamiento y pueden hacerse una idea de la textura de la carretera a través de las ruedas, o un guante de béisbol extiende el brazo del atleta (Noë 2010, pp. 105-106).

Hasta ahora hemos visto cómo el uso de determinados artefactos puede transformar nuestra propia experiencia (esquemas de percepción-acción) en relación al espacio. Ahora veremos cómo el uso de otros instrumentos puede modificar también nuestra experiencia de la temporalidad. Este nuevo ejemplo nos permitirá describir el modo en que los instrumentos vehiculan y median no sólo procesos de percepción-acción, sino también procesos cognitivos relacionados.

Gran parte de nuestros razonamientos, nuestra imaginación y planificación de acciones y eventos futuros implican computaciones relacionadas con el tiempo. Realizamos cálculos o inferencias aproximadas de la cantidad de tiempo que invertiremos en diferentes actividades, o la duración de un evento, o las mejores y peores formas de invertir nuestro tiempo. Desde una base corporal e interactiva, la experiencia humana, en tanto que ser vivo y animal, implica la temporalidad. Nuestros esquemas anticipatorios se desarrollan a lo largo del tiempo, en tanto que combinan la extracción de información presente con nuestras experiencias anteriores, para

generar un mapa de expectativas o anticipaciones futuras. Vivimos inmersos en una dinámica temporal de recuerdo y anticipación, mediante la cual damos sentido a nuestro presente. Tanto es así que para muchos autores la temporalidad es un aspecto constitutivo de nuestra conciencia (Thompson 2007, pp. 312-359).

Sin embargo, nuestras computaciones relacionadas con el concepto de tiempo implica una representación numérica del mismo, que nos permite cuantificarlo y realizar cálculos precisos y compartidos, que estructuran la temporalidad mediante una secuencia numérica común. Esta propiedad del tiempo, que forma parte de muchas de nuestras prácticas culturales y procesos cognitivos asociados, no depende exclusivamente de nuestra corporalidad, sino del uso de artefactos como el reloj.

Cuando preguntan a alguien si sabe qué hora es, y el otro responde de un modo afirmativo, a continuación mira el reloj (Noë 2010, pp. 109-110). Es decir, afirma saber qué hora es porque sabe que tiene acceso a este artefacto. Los procesos cognitivos relacionados con la cuantificación y computación del tiempo son una propiedad emergente de nuestros procesos perceptivos e interactivos coordinados con relojes sincronizados en todo el mundo.

Además de extender nuestras capacidades cognitivas, al permitirnos cuantificar y estandarizar el paso del tiempo, el reloj también supone una intersubjetivación del concepto de tiempo, ya que genera un anclaje que permite pensar en el paso del tiempo como una secuencia de instantes que duran lo mismo entre sí, y se suceden de un modo independiente a la experiencia de cualquier agente específico. En este caso, hablamos de la objetivación de la experiencia relativa a la noción de tiempo, ya que un instrumento como el reloj se convierte en el representante del transcurso del mismo, liberando así la duración de las experiencias de diferentes sujetos.

La objetivación de determinados aspectos de la experiencia es un proceso complejo que trataremos con más detalle en la tercera parte de la tesis, al abordar la cuestión de las prácticas científicas. Por el momento, nos ocuparemos del lenguaje, ya que es un dominio privilegiado para ver cómo se relacionan de una forma dinámica las propiedades de la cognición que hemos tratado hasta ahora, tomando como punto de partida la base experiencial del mismo. Además, estudiaremos el lenguaje como puente entre experiencia y cognición, para ver cómo el lenguaje transforma nuestra experiencia, llevándola más allá de sus propios límites, y generando la intersubjetivación de dominios diversos. Esto nos servirá, además, como transición para llegar al tema de la actividad científica.

5. LENGUAJE: PUENTE ENTRE EXPERIENCIA Y COGNICIÓN

En este último apartado de la segunda parte abordaremos el tema del lenguaje, por diversas razones. En primer lugar, nos permitirá proponer una aproximación del lenguaje compatible con los principios del modelo que hemos desarrollado. La idea principal es que el lenguaje no consiste en un conjunto de reglas formales que determinan la combinación de sus elementos, sino que surge en el seno de la experiencia corporal e interactiva de los agentes.

En segundo lugar, exploraremos el modo en que las diferentes propiedades de la cognición que hemos tratado hasta ahora se expresan y aparecen en el uso del lenguaje, atendiendo siempre al modo en que éstas se relacionan con la experiencia perceptiva e interactiva desde la que emergen. El lenguaje contribuye además a reforzar los lazos que mantienen un sentido común de la experiencia de diferentes agentes que participan de prácticas culturales comunes.

Finalmente, veremos que el lenguaje no sólo refleja las propiedades cognitivas humanas, sino que extiende el pensamiento y la cognición, llevando la mente más allá del conjunto de interacciones presente de los agentes para constituir espacios mentales imaginarios que van más allá de los mismos. Estos espacios imaginarios generados por la interacción dinámica entre lenguaje, cuerpo, mundo y cerebro constituyen las bases de la creatividad humana, y a la vez permiten transformar las estructuras materiales del mundo que habitamos, dando lugar a nuevos horizontes para la experiencia, y a la objetivación de algunos aspectos de la misma.

5.1. EL LENGUAJE EN EL SENO DE LA EXPERIENCIA

El lenguaje ha sido una de las áreas de reflexión más relevante en ciencias cognitivas desde los inicios de esta disciplina. Debido a sus características, como la sistematicidad, composicionalidad y productividad, el lenguaje es uno de los aspectos más fascinantes de la cognición humana. La lingüística ha sido la disciplina que más elementos de investigación ha aportado para el estudio del lenguaje en ciencias cognitivas, y Chomsky ha sido su representante más influyente. El lingüista norteamericano se enfrentó a concepciones del lenguaje demasiado simplistas, que no permitían explicar de un modo satisfactorio todas sus características. En la primera parte vimos su respuesta al intento del conductismo de reducir el lenguaje a un conjunto de asociaciones entre conductas y recompensas, según las cuales el agente aprendía a emitir los sonidos adecuados para obtener las respuestas deseadas y evitar las indeseadas. También se enfrentó a concepciones mecánicas que concebían el lenguaje como una sucesión de palabras que se encadenaban siguiendo ciertas reglas de combinación.

Chomsky se opuso a estas teorías proponiendo la idea de que subyace una gramática generativa a las estructuras superficiales del lenguaje, consistente en un conjunto de reglas innatas que permite traducir combinaciones de ideas a combinaciones de un código. Según esta teoría, la gramática consiste en un sistema combinatorio discreto que permite construir infinitas frases a partir de un número finito de elementos mediante un conjunto de reglas formales (Chomsky 1999).

Por tanto, la lingüística 'científica' propone que el conocimiento del lenguaje como hablantes competentes de una lengua consiste en conocer las reglas para la combinación de palabras en unas series gramaticalmente correctas; como oyentes, consiste en otorgar un significado a las palabras y conocer las reglas de combinación de las mismas para dar sentido a la frase (Noë 2010, p. 137).

Mediante estas capacidades, los seres humanos producen y entienden una infinidad de frases potenciales desde un nombre finito de palabras y reglas. Según la tradición chomskiana, el lenguaje nos plantea un gran reto computacional (Noë 2010, p. 141). Un niño tiene que aprender a usar el lenguaje en pocos años, y sobre la base de una información del entorno muy pobre, ya que el uso del lenguaje está lleno de errores y variaciones sutiles que dificultan la extracción de regularidades subyacentes. La solución de Chomsky es apelar a estructuras y procesos mentales innatos que permiten al niño completar la información recibida del entorno.

Esta perspectiva del correcto uso del lenguaje y de su aprendizaje deja de lado todo el fondo corporal e interactivo, así como las prácticas culturales compartidas, desde los cuales emergen, y se desarrollan, el resto de procesos cognitivos. El problema de identificar los sonidos, asignar de significado a palabras, y combinarlas según reglas sintácticas para dar sentido a una oración no es un problema que se plantee en la comunicación ordinaria. La comunicación se da normalmente en una situación compartida, y fluye a partir de lo que hacemos y nos encontramos en ella. Existen múltiples investigaciones acerca de la importancia fundamental de la copresencia a la hora de comprender al otro en una comunicación verbal, ya que la información verbal se completa siempre con otro tipo de información como la percepción del movimiento de los labios, los gestos y movimientos del otro, los cambios que se producen en el entorno compartido, etc. (Gibbs 2006, p. 172).

En los últimos años, este carácter multimodal del lenguaje ha cobrado un interés creciente, tanto en el estudio de la comunicación como de los gestos. Estos estudios atienden a elementos que incluyen aspectos prosódicos, de tonalidad y énfasis en algunas palabras, etc. Todos estos aspectos esenciales en la comunicación sólo pueden entenderse si estudiamos el lenguaje como un producto de agentes corpóreos en acción coordinada, en una situación compartida (Hutchins 2006). El mismo Hutchins ha realizado estudios etnográficos en los que pone de manifiesto que, incluso en la actividad científica, los gestos y el uso del cuerpo son vitales a la hora de dotar de sentido a los diferentes resultados experimentales y representaciones externas utilizadas (Hutchins 2004, 2007).

Según esta perspectiva, la descomposición del lenguaje en elementos atómicos que tienen un significado definido en función del elemento de la realidad que representan, y de reglas que permiten combinar estos elementos para dar lugar a un conjunto potencialmente infinito de oraciones es, por tanto, una imagen parcial o incompleta del lenguaje, en la medida en que olvida el origen experiencial del mismo.

Más aún, ni siquiera está claro que el lenguaje sea, en primer lugar, un sistema gramatical con elementos con significado representacional. En efecto, una de las ideas más arraigadas sobre el lenguaje es que su principal función es expresar información o comunicar pensamientos. El habla tiene muchas funciones, pero, en sus orígenes, probablemente tuviera más relación con conductas de otros animales como los chimpancés al limpiarse, o de los perros de pastoreo al ejercer de pastores, que con un discurso argumentado. Hablamos a otros para que hagan ciertas cosas, como la madre que increpa a su hijo para que no llegue tarde al colegio. Casi todo lo que decimos en nuestro día a día tiene más que ver con los gritos y

señales que se emiten los jugadores de fútbol para coordinarse en el terreno de juego que a otro tipo de conversaciones racionales (Noë 2010, p. 138).

De hecho, los datos paleológicos apuntan a que el lenguaje emerge entre homínidos que comienzan a establecer relaciones más estables entre ellos, que les permitían compartir alimentos y cooperar en la crianza de los niños. Este estilo de vida permitió estabilizar una práctica cultural emergente como la comunicación a través del cuerpo y de sonidos más o menos invariantes que permitían coordinar sus acciones en todas las tareas de supervivencia y crianza (Maturana y Varela 1989, p. 191).

El lenguaje debe comprenderse, por tanto, como una práctica cultural que permite coordinar las acciones de diferentes agentes humanos. Sólo a partir de este dominio pre-existente podemos considerar que surgen ciertos elementos simbólicos, como distinciones realizadas por un observador dentro de este flujo comunicativo de interacción mutua (Maturana 1995-1996, pp. 70-71).

Por ejemplo, imaginemos una situación cotidiana entre un niño y su madre. A lo largo del tiempo, se establece una relación de coordinación comunicativa entre ellos, que incluye sonidos recurrentes, gestos, expresiones faciales, movimientos corporales, miradas, etc. El niño se familiariza así con unos patrones globales de comunicación recurrentes. Para el niño, los sonidos que forman parte de estos patrones globales no tienen ningún valor referencial más allá de la propia dinámica comunicativa. Más bien, forman parte de los esquemas anticipatorios del niño que incluyen expectativas de posibles acciones o conductas de la madre, sobre la base de la experiencia previa. Dado que hay un conjunto de sonidos que la madre emite con más frecuencia, el niño aprende a reconocer estos sonidos, e identificarlos, a pesar de que no siempre se emitan del mismo modo. El niño también aprende, por imitación a reproducir estos sonidos de una forma cada vez más precisa.

Además de atender a la comunicación con la madre, el niño explora todo cuanto encuentra a su alrededor, familiarizándose de este modo con los objetos animados e inanimados, espacios y eventos con los que convive, y las relaciones recurrentes entre ellos. Por ejemplo, el niño integra determinados esquemas anticipatorios relacionados con la madre y con la aparición de un objeto animado. El niño establece una asociación recurrente entre el sonido “Bobby” y la aparición de su mascota en la habitación. En un principio, el niño asocia el sonido a la emisora del mismo, esto es, la madre, y lo que anticipa al oírla emitir el sonido son posibles interacciones entre ésta y el animal. Sin embargo, progresivamente la atención del niño se desplaza del emisor del sonido al animal. De este modo, se consolida gradualmente la asociación entre la palabra “Bobby” y la anticipación de la presencia del animal, o el indicio de que ha ocurrido algo relacionado con éste (Neisser 1981, pp. 151-168). Sólo en una etapa posterior el patrón acústico que constituye la palabra “Bobby” se fragmentará de una forma precisa en elementos de sonido discretos, mediante el aprendizaje de la práctica cultural de la escritura.

En resumen, para desarrollar una teoría unificada y experiencialista de la cognición, el primer paso debe ser el de comprender el lenguaje en el seno de la experiencia desde la que

emerge, más que como un sistema cerrado con un conjunto de elementos finito. No obstante, éste es sólo el primer paso, ya que una teoría unificada debe integrar las propiedades de la cognición humana mencionadas en la primera parte, así como el modo en que éstas se implementan en el lenguaje. Por tanto, nos ocuparemos en el siguiente apartado de los aspectos sintácticos del lenguaje, y de las propiedades de la cognición humana relacionadas con su carácter sistemático y estructurado, pero desde un enfoque compatible con la hipótesis de que el lenguaje sólo puede comprenderse plenamente atendiendo a sus procesos cognitivos subyacentes, que tienen su base en la experiencia corporal e interactiva y coordinada de los agentes humanos en el mundo que habitan.

5.2. CORPORALIDAD, INTERACCIÓN Y ESTRUCTURA DEL LENGUAJE

Uno de los aspectos del lenguaje que parecía respaldar las tesis de Chomsky era la de que las reglas sintácticas de la gramática generativa de Chomsky parecían reflejar la estructura profunda de cualquier lenguaje humano. La universalidad de la estructura profunda del lenguaje era, para Chomsky, un argumento a favor del carácter autónomo, independiente e innato de la sintaxis (Chomsky 1999, Johnson y Lakoff 1999, pp. 469-512). No era posible que entre seres humanos expuestos a estímulos y entornos distintos se pudieran hallar estructuras sintácticas y reglas formales isomórficas de combinación de palabras, a menos que estas reglas y estructuras se hallaran en la mente humana de un modo innato. Desde este enfoque, hay una corriente de pensamiento que defiende que son precisamente estos módulos mentales innatos de procesamiento del lenguaje los que dan al ser humano su especificidad con respecto al resto de especies animales (Gómez Pin 2005).

Sin embargo, las bases de un modelo experiencialista nos fuerzan a buscar las bases de esta universalidad de ciertas estructuras profundas del lenguaje en el seno mismo de la experiencia corporal, interactiva y cultural de los agentes humanos. La sistematicidad del lenguaje no puede ser independiente de todos los demás aspectos de la interacción humana con el entorno (Johnson y Lakoff 1999, p. 479), sino que es posible precisamente por el hecho de que los seres humanos habitamos un mundo compartido, y participamos de sus regularidades y procesos cíclicos, interactuamos con los objetos que lo componen, que mantienen una cierta estabilidad a lo largo del tiempo. Por otro lado, la gran similitud de las bases corporales y neuronales de los miembros de nuestra especie es el otro aspecto que ayuda a comprender el carácter universal de la sistematicidad del lenguaje (Johnson y Lakoff 1999). Anteriormente, podemos encontrar tesis muy similares en las *Investigaciones Filosóficas* de Wittgenstein entre el lenguaje y las formas de vida subyacentes (Wittgenstein 1997).

Algunos hechos que provienen del ámbito de la lingüística y la neurociencia se hallan a favor de nuestra hipótesis. En primer lugar, Chomsky sostenía la tesis de la autonomía e independencia de la sintaxis desde un punto de vista científico, basándose en la hipótesis de que las reglas sintácticas eran por sí solas suficientes para establecer unas leyes generales que pudieran explicar la gramaticalidad de cualquier oración particular. Sin embargo, existen oraciones cuya estructura profunda subyacente no puede explicarse sobre generalizaciones

sintácticas, sino que requieren generalizaciones semánticas, e incluso pragmáticas (Johnson y Lakoff 1999, p. 481-486). Este hecho refuerza la tesis del subapartado anterior, según la cual el lenguaje emerge desde un fondo interactivo multimodal que envuelve la actividad coordinada de los cuerpos de los interlocutores en una situación compartida.

Por otro lado, la independencia y autonomía de la sintaxis requeriría postular la existencia de un módulo mental o cerebral aislado del resto de funciones cognitivas, y encargado de procesar la información lingüística. No obstante, las investigaciones más recientes en neurociencia parecen estar más de acuerdo con la concepción del sistema nervioso de Maturana y Varela aparecida anteriormente, según la cual el sistema nervioso está constituido por una red interneuronal que se encarga de coordinar los aspectos sensores y motores del organismo. En este sentido, la red interneuronal mantiene patrones de interacción complejos, que implican subgrupos neuronales de actividad más específica, pero en ningún caso aislada, e independiente de estas funciones de coordinación sensorimotora (Damasio 1999, 2005, 2006; Edelman 2002; Noë 2010).

En definitiva, cada vez parece haber más evidencias en distintos ámbitos del saber de que el lenguaje y sus reglas combinatorias están anclados en la experiencia, más que consistir en algo independiente o autónomo. Nuestra experiencia se compone de la participación en un mundo en el que habitamos distintos espacios, cerrados o abiertos, por los que nos podemos desplazar de formas diversas, según sus propiedades, a lo largo de una dinámica temporal, e interactuamos con diferentes cosas, algunas animadas, otras inanimadas, llevamos a cabo acciones en el mundo que requieren tiempo para realizarse, otras de carácter más instantáneo; en otras ocasiones recibimos acciones de otros elementos del entorno, ya sean personas o cosas, o fenómenos meteorológicos.

Por otro lado, esta experiencia del mundo se realiza a partir de nuestras estructuras corporales y neuronales, en gran medida equivalentes en todos los miembros de nuestra especie, debido a la herencia de un linaje biológico común. Esto nos permite poseer un dominio de interacciones similar, debido a nuestra estructura corporal similar, y extraer una información similar de las propiedades de los objetos que nos rodean, debido a nuestra corporalidad y nuestras bases neurales compartidas. En este sentido, los miembros de la especie humana habitamos un mundo común.

El lenguaje posee una gramática estructurada y sistemática, compartida por las lenguas humanas, en la medida en que surge de estas bases experienciales comunes. Mediante patrones de conexión neuronal, seres humanos que participan de prácticas culturales diversas generan patrones de asociación entre diferentes tipos de interacción recurrentes con el entorno, y patrones fonológicos específicos, de modo que, a pesar de poseer una estructura profunda compartida, cada lengua humana posee una estructura superficial diferente (Johnson y Lakoff 1999, pp. 497-498).

Por ejemplo, la lengua alemana utiliza la declinación de acusativo tanto para los objetos directos como para los desplazamientos hacia algún lugar. En el caso del castellano, utilizamos la palabra “hacia” para introducir cláusulas relacionadas con la dirección, o meta a la que nos

dirigimos, mientras que el objeto directo se compone de un determinante y un nombre, normalmente detrás del verbo. A pesar de estas diferencias superficiales, en ambos casos existe el objeto directo, que es aquél nombre que recibe la acción del verbo, y el complemento circunstancial de lugar, que indica, en este caso, el lugar al que nos referimos.

Además, una vez estabilizada la palabra "hacia" como elemento para introducir metas a las cuales nos dirigimos, podemos introducir otro tipo de complementos que no sean de lugar, como en el caso "nos dirigimos hacia un futuro mejor". En este caso, la meta no es espacial sino temporal, pero, ya que se sigue manteniendo la estructura Sujeto-Desplazamiento-Meta, aunque en esta ocasión sea de carácter temporal, utilizamos la misma estructura sintáctica. Más tarde volveremos sobre este tipos de extensiones sintácticas y semánticas del lenguaje de unos conceptos a otros. Lo importante aquí es dejar claro que esta estructura sintáctica común a los dos ejemplos tiene su origen en nuestra interacción corporal con el entorno, en el cual nos desplazamos a lo largo del tiempo, y nos fijamos metas futuras en nuestra planificación del día a día. El carácter universal de estas estructuras se halla, desde nuestro punto de vista, precisamente en las bases comunes de nuestra experiencia, y no en la independencia de la sintaxis.

Según esta perspectiva, la sintaxis no sería algo autónomo e independiente, sino que se hallaría en estrecha relación con la estabilización de determinados esquemas o patrones interactivos comunes entre los miembros de nuestra especie y las propiedades compartidas de los contextos que habitan (Johnson 1991, pp. 101-162).

Analicemos ahora la oración "las mujeres salvajes y desvergonzadas viven felizmente". En este caso, nos encontramos ante una oración a la que subyace la estructura Entidad-Propiedad-Propiedad-Proceso-Modo. Se trata de una oración donde se seleccionan un conjunto de entidades del mundo, esto es, las mujeres. Pero no todas las mujeres, es decir, no todas aquellas entidades del mundo que denominaríamos mujeres, sino aquellas que, según nuestra exploración de las mismas, tendrían las propiedades mencionadas. Vemos que no se menciona una propiedad como la de no tener pene, porque es un rasgo compartido por las mujeres, sino propiedades diferenciales que nos permitirían diferenciar un tipo de mujeres de otras, y que pueden pertenecer a otra entidad que no sean mujeres. Además, se indica un proceso, como el de vivir, que estas mujeres viven de un modo determinado, esto es, felizmente.

Una vez más, la estructura subyacente de esta oración está anclada en las bases de nuestra experiencia en el mundo que habitamos. Los agentes humanos vivimos en un mundo con diferentes entidades ("mujeres"), que clasificamos según el tipo de interacciones que establecemos con ellas. Por otro lado, dentro de una categoría determinada existen múltiples variaciones entre los miembros de la misma, que destacamos en las estructuras sintácticas con el uso de adjetivos ("salvajes" y "desvergonzadas"). Por otro lado, estas entidades llevan a cabo determinados procesos de un modo recurrente. Por ejemplo, las mujeres, en tanto que seres vivos, nacen, viven y mueren. Finalmente, cada uno de estos procesos puede llevarse de forma distinta, que señalamos en el lenguaje mediante el uso de adverbios. Por lo tanto, la

oración es un resultado de integrar neuronalmente información sobre el tipo de interacciones que establecemos a lo largo de nuestra experiencia en el mundo, que determina la estructura profunda de la oración, y la asociación de estas bases estructurales con patrones de sonido recurrentes.

Una vez fijada esta estructura profunda Entidad-Propiedad-Propiedad-Proceso-Modo, se pueden elaborar infinidad de oraciones a partir de la misma. Por ejemplo, “los chicos altos y fuertes corren velozmente”. Manteniendo esta estructura Chomsky utilizó una célebre frase, a saber “las ideas verdes incoloras duermen furiosamente”, para argumentar que la sintaxis debía ser algo autónomo e independiente, porque ésta es una oración gramaticalmente correcta, a pesar de que no tiene ninguna base empírica. Sin embargo, el hecho de que su gramaticalidad radique en un tipo de estructura que se repite de un modo recurrente en las interacciones que establecemos con los diferentes elementos del mundo en nuestra vida cotidiana, parece más bien una prueba a favor de la aproximación experiencialista (Johnson y Lakoff 1999, pp. 505-507). Lo que sí refleja esta oración, es un aspecto del lenguaje que analizaremos en apartados siguientes, a saber, que a pesar de hallar sus bases estructurales en la experiencia del agente en su entorno, una vez que éstas se fijan pueden dar lugar a oraciones que van más allá del dominio de interacciones del agente en su vida cotidiana, abriendo nuevos horizontes para la cognición, y dando lugar eventualmente a la transformación de las propias estructuras materiales del mundo y, por ende, de nuestra propia experiencia corporal e interactiva.

5.3. HABILIDAD SENSORIMOTORA Y LÉXICO

Por el momento, hemos reunido dos ideas principales con respecto al lenguaje. En primer lugar, que el estudio del mismo debería incluir la base experiencial, corporal e interactiva de la que emerge, y en la cual se lleva a cabo. En segundo lugar, que el lenguaje acaba desarrollando unas estructuras compuestas por elementos o unidades mínimas que se combinan sobre la base de unas reglas generales de combinación. La universalidad de la estructura profunda de los diferentes lenguajes debe hallarse en la asociación que las estructuras superficiales de cada lenguaje ha establecido con unos patrones comunes a los miembros de nuestra especie en cuanto a nuestra interacción con el mundo, gracias a la similitud de nuestras bases corporales y mecanismos neuronales, y las propiedades del mundo que habitamos.

Además de estas estructuras comunes, cada lenguaje desarrolla un léxico determinado para diferentes campos o dominios. En efecto, a pesar de que el lenguaje tiene una función de cooperación y coordinación antes que referencial, cuando se estabilizan ciertos patrones acústicos entre diversos agentes que les permiten coordinarse en la atención conjunta hacia ciertos objetos, propiedades de objetos, procesos o modalidad de los procesos del entorno, podemos comenzar a hablar de un léxico, o palabras que remiten a estos aspectos de nuestra experiencia en interacción con el mundo (Maturana y Varela 1989, pp. 177-202).

Este léxico depende en gran medida del nivel de pericia de los miembros de una cultura determinada sobre la base de su historia interactiva, mediada por las prácticas culturales de las que participan. Ya hemos visto anteriormente que los esquimales cuentan con un léxico mucho mayor para los matices de lo que nosotros denominamos de forma unitaria color blanco. En otro orden de cosas, hallamos la tradición espiritual oriental, que ha desarrollado un vocabulario rico y complejo en cuanto a los tipos de respiración humana y los diversos estados de conciencia, debido a la intensa dedicación en torno a la exploración en primera persona de estos aspectos de su cuerpo y su mente (Varela, Rosch y Thompson 1991; Thompson 2007; Wallace, B. A. 2006).

La riqueza del léxico de un lenguaje en un dominio determinado depende del nivel de habilidad perceptiva e interactiva de los agentes de una comunidad. Este nivel de habilidad dependerá del contexto o entorno que habiten, las prácticas culturales de las que participen, su estilo de vida, etc. Una cultura acostumbrada a vivir en contextos nevados desarrollará una mayor sensibilidad para discriminar tonalidades de blanco; una cultura que desarrolle una tradición espiritual sostenida en el tiempo, basada en la introspección, desarrollará una mayor habilidad para discriminar tipos de estados internos, y por tanto un léxico más rico y diverso en este ámbito, etc.

De este modo, cada cultura desarrolla a través de su habilidad unas categorizaciones o redes de significación comunes y estandarizadas que se reflejan en el léxico de su lenguaje. Incluso los miembros de la cultura que no poseen el nivel de habilidad de los expertos en estos dominios asumen estas categorías y las utilizan como si éstas fueran algo normativo, algo "dado". Es decir, el grado de habilidad de un grupo se extiende mediante el léxico a una intersubjetividad compartida por todos los miembros de la comunidad que conocen ese léxico.

Imaginemos una persona que conoce las palabras del castellano "olmo" y "haya". A pesar de que fuera incapaz de distinguirlos mediante su experiencia, tiene acceso a información verbal que le permitiría realizar afirmaciones verdaderas sobre los olmos, como por ejemplo que la enfermedad del olmo holandés está aniquilando los olmos de Norteamérica. Esto es posible porque el significado de las palabras reside en el seno de unas prácticas sociales de las que participamos de un modo indirecto. Es necesario que haya expertos para distinguir este tipo de árboles, pero las palabras permiten que los no expertos puedan acceder a estas distinciones en alguna medida (Noë 2010, pp. 118-119). Dentro de la teoría experiencialista de la cognición que aquí se está desarrollando, el significado emerge del "know-how" de ciertos expertos que estabilizan ciertos patrones de acción que les permiten acceder de forma sistemática a ciertos estímulos del entorno. No obstante, más allá de esta teoría existe un debate filosófico de gran tradición entre autores como Putnam o Kripke acerca de si el significado reside en la cabeza del individuo o fuera de la misma, que es recomendable consultar para profundizar en esta temática.

En ocasiones las mismas palabras nos dan pistas sobre el origen experiencial que subyace a las mismas. Por ejemplo, Dufay, el hombre que descubrió que había dos tipos de electricidad, una que atraía objetos y otra que los repelía, las denominó "carga vítrea", y "carga

resinosa", respectivamente, en función del material que producía cada una de ellas (Holton 1981, pp. 579-608).

En el ámbito de la química, tras la revolución iniciada por Lavoisier, que, junto con Boyle, planteó que la noción de elemento químico debía buscarse en el laboratorio y no en especulaciones metafísicas, y que un elemento era, provisionalmente, aquella sustancia que los químicos no podían seguir descomponiendo o dividiendo mediante las técnicas e instrumentos de la época (Holton 1981, p. 450), muchos de los elementos químicos descubiertos adquirían su nombre sobre la base de propiedades del elemento halladas mediante técnicas de laboratorio, percibidas por el científico (Asimov 1986). Estos elementos forman parte actualmente de lo que denominamos la tabla periódica de los elementos, y debido a que la nomenclatura se inspira en el griego, pocos conocemos esta relación entre el nombre y las propiedades del mismo.

En síntesis, mientras que la sintaxis y la semántica del lenguaje tendrían una relación directa con las bases corporales, neuronales y físicas de nuestra interacción con el entorno, las diferencias de léxico entre lenguajes son un reflejo directo de las diferencias de habilidad entre agentes de diferentes culturas a la hora de extraer un cierto tipo de información en ámbitos concretos. Sin embargo, la estabilización de un léxico implica que esta habilidad de algunos expertos se estabilice en categorías estandarizadas dentro de una comunidad, y por lo tanto todos los miembros de la misma participen de estas categorías y este léxico en mayor o menor medida.

Esto implica que la estabilización de un léxico compartido permite generar una intersubjetivación de la experiencia y los procesos cognitivos de los miembros de la comunidad, en la medida en que participan del mismo lenguaje que los expertos que desarrollan el léxico del lenguaje en algún dominio determinado, convirtiendo este léxico en categorías normativas que otros miembros de la comunidad lingüística deben asumir y aprender. De este modo, el lenguaje ayuda a intersubjetivar y reducir las diferencias entre diferentes agentes en su generación de sentido del mundo que habita, y en los procesos cognitivos que pueda llevar a cabo.

A continuación veremos de qué modo se expresan en el lenguaje otros aspectos de la experiencia más próximas al polo subjetivo de la misma, y la importancia de éstas en la creatividad humana. Esta creatividad es fundamental para extender la cognición humana y, en segundo lugar, transformar las estructuras materiales del mundo, lo que en algunos casos, especialmente en la actividad científica, implica la objetivación de algunos dominios interactivos.

5.4. PERSPECTIVAS, PROPÓSITOS, CREATIVIDAD Y TRANSFORMACIÓN DE LA EXPERIENCIA

Las bases sintácticas y semánticas del lenguaje guardan una estrecha relación con los aspectos de la experiencia compartidos por los miembros de nuestra especie, mientras que el léxico de cada lenguaje indica el nivel de habilidad desarrollado por sus expertos, que se estabiliza en redes conceptuales y categorizaciones estandarizadas de la realidad de esa

comunidad particular, a pesar de que existan unas bases comunes de interacción, dadas nuestras semejanzas corporales y las propiedades comunes de los entornos que habitamos, que limitan las diferencias debidas a la práctica o la habilidad adquirida.

Pues bien, a pesar de compartir unas bases comunes de la experiencia, que implican estructuras lingüísticas compartidas por todos los lenguajes humanos, y un léxico común que permite desarrollar categorizaciones estandarizadas dentro de una comunidad, facilitando así unas bases intersubjetivas dentro de las misma, cada agente particular utiliza el lenguaje según los propósitos del momento, que implican la activación de ciertos patrones neuronales diversos en función de los criterios interactivos a los que atienden los esquemas que guían su exploración en cada caso.

Por ejemplo, cuando un agente mira un árbol, y quiere llamar la atención de su interlocutor hacia ese objeto, debe decidir, en parte basándose en sus propósitos, y en parte en los conocimientos y expectativas de su interlocutor, la expresión adecuada que debe utilizar, en función de los criterios interactivos que priorice: puede decir “mira ese árbol que hay ahí”, “mira eso”, “mira ese roble”, “mira ese viejo roble”, “mira ese bello roble”, “mira ese roble feo y desgastado”, “mira ese estorbo que no nos permite disfrutar de este día soleado por culpa de su enorme sombra”, etc. También debe decidir si el árbol está en frente, dentro de algún espacio relevante para la comunicación en ese momento, encima de algo que se quiera destacar, debajo del cielo, etc. (Tomasello 1999, pp. 126-127).

El lenguaje posee una estructuración y un léxico compartidos, pero cada agente debe utilizarlo de manera ajustada a sus propósitos, y en consonancia con su exploración y su plan de acción del momento, que implica unos criterios y unos patrones neuronales determinados.

En esta ocasión, el lenguaje no sólo refleja un aspecto de la experiencia, como son la influencia de los propósitos y los esquemas anticipatorios del ciclo perceptivo de un agente dentro de su dinámica interactiva propia, sino que también es una herramienta mediante la cual se puede llevar a cabo una intersubjetivación, en la medida en que el lenguaje permite explicitar estos criterios interactivos subyacentes para compartirlos con el interlocutor, y obliga a un agente a tener en cuenta la perspectiva del otro, así como su conocimiento y nivel de habilidad en un dominio determinado, para hacer comprensibles sus intenciones y su perspectiva utilizando una expresión que se ajuste tanto a la perspectiva de ambos.

En este sentido, la comunicación lingüística se convierte en una herramienta no sólo de intersubjetivación, sino de extensión del propio pensamiento, la propia imaginación y la propia capacidad de realizar inferencias múltiples, al ser capaz de situarse en diferentes perspectivas de una misma situación, y explorarla desde cada una de ellas, imaginando posibles consecuencias en cada caso.

Este hecho se puede ilustrar mediante una oración como la siguiente: “Hasta donde alcanzaba mi vista, los tallos de maíz se arqueaban en forma de ondas al recibir la embestida de una cortina de lluvia creciente”. Para entender esta oración y dotarla de significado, el lector debe asumir múltiples perspectivas dentro de la situación imaginaria. Por un lado, adopta la perspectiva de “la vista”, como un espectador que percibe una escena determinada a lo lejos.

Por otro lado, debe combinar la imagen de una onda con la de los tallos de maíz, y solapar ambas imágenes para obtener la sensación de arqueamiento de los tallos. Finalmente, debe imaginar que esta forma no es espontánea, sino que se debe a la acción constante de la lluvia, que genera una fuerza resultante que mantiene los tallos inclinados. Para comprender esta última parte, el agente no sólo debe posicionarse como espectador que percibe la situación, sino atender a su experiencia como agente causal y agente receptor de fuerzas, de modo que pueda llegar a sentir y percibir la acción de la lluvia sobre los tallos, y la forma arqueada de los mismos como resultado de la acción de esa fuerza, contra la que no pueden resistirse más de lo que lo hacen (Gibbs 2006, p. 200).

La asunción de perspectivas y criterios interactivos distintos en el uso del lenguaje se extiende más aún cuando una misma oración combina información de diferentes dominios sobre la base de relaciones de semejanza a partir de criterios interactivos determinados. Por ejemplo, ante una situación en la que comento a un amigo la gente que he invitado a mi fiesta de cumpleaños, puedo afirmar, refiriéndome a una chica determinada, que “he invitado a una rubia sexy”, o “a una renombrada violoncelista a nuestra cena”, o “a una activista política”, o “a una bisexual”, en función de mis propósitos y mi interacción con el interlocutor (Johnson y Lakoff 2007, p. 205).

Del mismo modo, puedo afirmar, sobre Francia, que voy a viajar “al país de la ciudad del amor”, “al país vecino”, “a uno de los países que se quiere hacer con la hegemonía de Europa”, “a la mano derecha de Alemania”, etc. Pero también puedo combinar la información geográfica de un mapa con información del dominio de la geometría sobre diferentes formas geométricas, y establecer semejanzas entre formas geométricas y zonas geográficas determinadas, afirmando que “Francia es un paralelogramo”, o, refiriéndome a otros lugares, que “Missouri es un paralelogramo”, o, más allá de la geometría, que “Italia tiene forma de bota” (Johnson y Lakoff 2007, p. 207). Este tipo de procesos cognitivos que extienden nuestra imaginación y las inferencias que podemos realizar emergen de la interacción entre las propiedades de la cognición en la medida en que ésta está anclada en la experiencia del agente, y las propiedades del lenguaje, que dotan a la imaginación de un mayor nivel de estructuración y sistematicidad, que permite explicitar los criterios interactivos que se hallan en la base de los esquemas anticipatorios del agente en su dinámica interactiva y perceptiva con el entorno.

Por tanto, el lenguaje, que surge de la experiencia corporal, interactiva y cultural de los agentes en cooperación, adquiere unas propiedades que permiten, por un lado, generar horizontes intersubjetivados a partir de las experiencias individuales o grupales de un pequeño núcleo de expertos, y de las perspectivas de cada agente a lo largo de su dinámica interactiva, al tener que incluir en la misma la perspectiva del otro para poder comunicarse con él. Por otro lado, propiedades emergentes del lenguaje humano permiten al agente extender su horizonte de pensamiento, extendiendo su imaginación y sus propiedades cognitivas e inferenciales asociadas, al combinar información de diferentes dominios, insertando esta información dentro de una misma estructura lingüística. De este modo, las relaciones de semejanza que forman

parte de la base experiencial de la cognición, se extienden a campos de diferentes dominios, gracias a la capacidad del lenguaje de condensar en sus estructuras información desde diferentes perspectivas y que incluye diversos dominios.

De este modo, el lenguaje no sólo constituye la herramienta humana más potente de intersubjetivación de la experiencia, sino un medio de expansión del pensamiento y la cognición. No en vano ha sido denominado por algunos de los defensores más representativos de la tesis de la mente extendida, como Andy Clark, el artefacto definitivo (Clark 1997). Otros filósofos como Noë utilizan la analogía del lenguaje con un artefacto como el rastrillo, argumentando que, del mismo modo que un rastrillo extiende nuestro alcance y amplía nuestro dominio de interacciones, podemos decir que el lenguaje extiende nuestros esquemas mentales (Noë 2010, 116-125). En el ámbito de la biología y la neurociencia, también se ha explorado el papel crucial del lenguaje, no sólo en la generación de prácticas culturales que implican la cooperación y coordinación de diferentes agentes, sino en la misma constitución de una coherencia e integración interna que nos permite generar un "yo", o "conciencia" extendida en el tiempo y que nos permite conservar una adaptación en el dominio del lenguaje (Maturana y Varela 1989, p. 200).

A continuación veremos algunos de los modos en que se produce esa expansión de la cognición a través de la interacción entre experiencia y lenguaje, y analizaremos la relación entre esta expansión y la creatividad humana, que lleva consigo la transformación del mundo circundante, y, en algunos casos, la objetivación de algunos aspectos de la experiencia, modificando así las relaciones e interacciones con el entorno, y desarrollando espacios de interacción compartidos, extensibles a todos los miembros de la especie, especialmente mediante la actividad científica y la tecnología.

5.4.1. CONCEPTUALIZACIÓN Y PROYECCIONES METAFÓRICAS

Ya hemos visto que el lenguaje se constituye de unas estructuras y un léxico que tiene una fuerte conexión con diferentes aspectos de nuestra experiencia. En segundo lugar, también hemos ofrecido algunos argumentos y ejemplos para ilustrar que el uso de estas estructuras y este léxico dependen de los propósitos de un agente en un momento determinado, en el que pone en marcha unos procesos perceptivos y unos patrones de activación de la red neuronal que le llevan a fijarse en unos criterios interactivos y no en otros.

Lo que veremos a continuación es el modo en que las estructuras del lenguaje y su uso por parte de los agentes permiten generar relaciones de semejanza entre dominios diversos, expandiendo así el horizonte mental del agente. Esta creatividad se sitúa en la base de la capacidad humana de transformar su entorno e interacciones con el mismo, incidiendo así sobre su propia experiencia.

En los últimos años se ha desarrollado en ciencias cognitivas una teoría de la conceptualización humana basada en la generación de metáforas (Johnson y Lakoff 1986, 1999; Lakoff 1990; Johnson 1897; Gibbs 2006). La idea principal de esta teoría que queremos recoger aquí es que los conceptos abstractos, como la causalidad, la moralidad, o el tiempo,

que no tienen una base corporal e interactiva tan directa como los ejemplos del léxico que hemos visto en apartados anteriores, se estructuran parcialmente mediante la proyección de metáforas de diversos dominios.

La proyección metafórica permite que un concepto más difuso y desestructurado pueda precisarse y estructurarse mediante relaciones de semejanza entre este concepto y conceptos de otros dominios más próximos a la experiencia humana y a sus bases corporales e interactivas. De este modo, el dominio-fuente de la proyección metafórica se estructura sobre la base de nuestra experiencia más básica desde un punto de vista sensorimotor. A partir de este dominio, se establecen asociaciones neuronales en la red interneuronal del sistema nervioso entre éste y otro dominio que involucra conceptos más abstractos (Johnson y Lakoff 1999, p. 73). Estas relaciones de semejanza que se implementan mediante asociaciones neuronales están posibilitadas por las estructuras del lenguaje, previamente estabilizadas a través de la coordinación sensorimotora entre diferentes agentes, que constituyen unas prácticas culturales y unos patrones acústicos de comunicación compartidos.

Se han descrito tres categorías básicas para incluir los diversos dominios-fuente involucrados en las proyecciones metafóricas que se hallan en el lenguaje (Johnson y Lakoff 2007). En primer lugar nos encontramos con las metáforas orientacionales. En tanto que organismos vivos que habitamos un mundo, contamos con una rica experiencia y habilidad a la hora de orientarnos en el espacio. Nuestro cuerpo, nuestros sentidos y actividad motora, se convierten en nuestro marco de referencia, desde el cual se generan discriminaciones entre el arriba y el abajo, el cerca y el lejos, delante y detrás, izquierda y derecha, etc. Pues bien, a partir de esta estructuración de nuestra ubicación en el espacio y nuestro movimiento en el mismo, podemos establecer proyecciones metafóricas que nos ayuden a estructurar otros conceptos más abstractos.

Tomemos como ejemplo proyecciones metafóricas que envuelven el concepto de tiempo. A pesar de que la temporalidad constituye un elemento fundamental de nuestra conciencia (Thompson 2007, Neisser 1981), el tiempo es muy difícil de conceptualizar para el ser humano en sus propios términos (Johnson y Lakoff 1999, p. 166). Podemos discriminar entre un antes y un después, porque el futuro requiere decisiones y planes de acción, y el pasado es algo fijo que recordamos como algo que no requiere plan de acción ni toma de decisiones, siendo la relación entre pasado y futuro irreversible.

Sin embargo, oraciones como la enunciada anteriormente “Nos dirigimos hacia un futuro mejor”, u otras como “Aún nos quedan dos semanas por delante” (futuro), o “Ahora todo eso ha quedado atrás” (pasado), el pasado y el futuro se estructuran sobre la base de nuestra estructuración orientacional en el espacio. Esto nos permite introducir nuevas propiedades para los conceptos de pasado y futuro. Ahora, diferentes situaciones pasadas y futuras pueden situarse más cerca o más lejos. En otros caso, como en la oración “tenemos que sobreponernos a este futuro incierto”, el futuro es algo que se sitúa por encima nuestro, y, por tanto, supone una carga, y algo que no deja ver el horizonte con claridad. De este modo, el pasado y el futuro adquieren una mayor estructuración y también involucran una mayor carga

emocional, y una sensación de pesadumbre o ligereza, según si se sitúa arriba o debajo de nosotros.

En segundo lugar, hallamos las metáforas ontológicas. Como agentes que interactuamos en un mundo de objetos semipermanentes, manipulamos entidades que mantienen una estructura a lo largo del tiempo. A partir de nuestra interacción con estos objetos, extraemos información sobre sus formas, tamaños, colores, sabores, velocidad en el movimiento, automoción (en el caso de seres animados), etc. En el caso de la interacción con seres animados, muchas veces mantenemos una actitud perceptiva en la que observamos sus movimientos mientras permanecemos quietos, como centro de referencia de sus movimientos.

Nuestro lenguaje permite que "El futuro se nos eche encima", del mismo modo que podría hacerlo nuestra mascota. Así, el tiempo queda caracterizado mediante la proyección metafórica EL TIEMPO ES UN OBJETO QUE SE MUEVE (Johnson y Lakoff 2007, p. 81). También podemos afirmar que "debemos afrontar el futuro que se nos aproxima con valentía" o que "vendrán tiempos mejores". En estos casos, el futuro, al convertirse en un objeto animado que se acerca, puede ser peligroso, agradable, amistoso, pesado, ligero, etc. Una vez más, la estructuración parcialmente metafórica del concepto tiempo permite dotar a sus subcategorías de propiedades emergentes que les conceden una mayor estructuración y carga emocional.

En último lugar, contamos con las metáforas estructurales. Este tipo de metáforas se basan en dominios-fuente que tienen que ver con prácticas culturales compartidas por un grupo. Las prácticas culturales conceden una estructura más o menos estable a un conjunto de interacciones humanas con las que se persiguen ciertos propósitos o metas. Por ejemplo, una guerra entre diferentes grupos humanos se estructura en fases temporales, grupos con intereses encontrados, tipos de acciones y artefactos pertinentes, reglas de lo que está y no está permitido a lo largo de la misma, etc. Nuestras conversaciones, por ejemplo, adquiere parte de su estructura gracias a la proyección metafórica UNA CONVERSACIÓN RACIONAL ES UNA GUERRA (Johnson y Lakoff 2007, pp. 101-104).

Por otro lado, el tiempo también se estructura como concepto mediante la proyección metafórica EL TIEMPO ES UN RECURSO LIMITADO. Dentro de las prácticas culturales humanas, la industria y la explotación de la naturaleza es una de las que tiene más tradición. Dentro de estas prácticas, un recurso material es toda aquella sustancia que se puede cuantificar con bastante precisión, y a la cual se le puede asignar un valor por la cantidad en cada unidad de medida. Además, un recurso material sirve para satisfacer alguna necesidad o algún propósito de la sociedad o de un sector de la misma, y se va consumiendo progresivamente conforme sirve a ese propósito.

La metáfora del tiempo como recurso limitado se sitúa en la base de muchas de las oraciones de nuestro lenguaje que involucran al concepto de tiempo, como "Me estás haciendo perder el tiempo", "No dispongo de tiempo suficiente para eso", "Esta estrategia nos ahorrará mucho tiempo".

En síntesis, la conceptualización del tiempo, tal y como se expresa en nuestro lenguaje, no es compatible con la idea de que el tiempo es un concepto que puede definirse mediante

una serie de propiedades necesarias y suficientes que lo caracterizan y delimitan con respecto a otros conceptos. Más bien, la conceptualización del tiempo requiere del solapamiento parcial entre éste y la conceptualización de otros dominios con un mayor anclaje en los aspectos corporales e interactivos de nuestra experiencia. Más aún, la proyección o solapamiento que se escoja en cada caso dependerá de los patrones de activación de la red interneuronal del agente, y las relaciones de semejanza con otros dominios asociadas a estos patrones de activación, en función de los propósitos y el contexto del agente en un momento de su dinámica interactiva, y de los agentes con los que interactúa, modulada por las prácticas culturales que comparte con ellos.

Lo interesante es que una vez el agente se sitúa en una perspectiva concreta que involucra una proyección metafórica determinada, ésta puede ser incompatible con otras proyecciones metafóricas que el mismo agente puede utilizar en otro momento distinto, con propósitos e interlocutores distintos. Por ejemplo, en el caso de las metáforas ontológicas y orientacionales que hemos visto con respecto al tiempo, ambas implican movimiento, pero en un caso es del agente, mientras que en el otro caso es del pasado o el futuro hacia el agente. A pesar de esta diferencia, en ambos casos una relación de cambio de posición entre agente y tiempo. Sin embargo, estas metáforas son incompatibles con la metáfora del tiempo como recurso limitado, porque cuando el tiempo se aproxima o nosotros nos aproximamos a él, no lo estamos consumiendo ni se está gastando, mientras que en la metáfora restante ésta se convierte en una propiedad esencial de la dinámica temporal.

Todas estas propiedades de la estructuración metafórica de los conceptos se pueden aplicar a muchos otros conceptos abstractos de nuestro lenguaje. Por ejemplo, el concepto de idea implica múltiples proyecciones metafóricas de dominios interactivos diversos: LAS IDEAS SON PERSONAS (“Concibió una brillante idea acerca del movimiento molecular”, “la idea que estoy gestando se encuentra todavía en su infancia”), LAS IDEAS SON ARTÍCULOS (“Esta idea se venderá muy bien”, “tus ideas no tienen la más mínima posibilidad en el mercado intelectual”). Cada una de estas metáforas resalta algunas de las propiedades de nuestro concepto de idea, como por ejemplo que tienen un origen, se desarrollan y llegan a su fin, en el primer caso, o que se comercializan y adquieren un valor de cambio en el mercado, en la segunda.

Dentro de estas posibilidades, existen incompatibilidades múltiples entre proyecciones metafóricas. Por ejemplo, LAS IDEAS SON PERSONAS, mencionada anteriormente, choca con LAS IDEAS SON INSTRUMENTOS CORTANTES (“Es una idea incisiva”), en la medida en que las personas no se usan para cortar, y los instrumentos no nacen y mueren. Del mismo modo, LAS IDEAS SON MODAS (“Es una vieja idea”, “sus ideas se encuentran a la vanguardia de Europa”), es incoherente con LAS IDEAS SON ALIMENTOS (“Su idea me ha dejado mal sabor de boca”, “Es una idea jugosa”), ya que las modas no se comen, y es algo abstracto (Johnson y Lakoff 2007, pp. 85-91).

Esta estructuración parcialmente metafórica de los conceptos y su solapamiento parcial entre diferentes dominios, que pueden ser utilizados en diferentes contextos y con diferentes

propósitos, atendiendo a diferentes relaciones de semejanza entre conceptos de diversos dominios, a pesar de la inconsistencia de algunas de ellas, implica la expansión de los procesos cognitivos de categorización e inferencia, de modo que las proyecciones metafóricas se sitúan en la base de la creatividad humana. Por ejemplo, el amor es un concepto complejo con diferentes dimensiones, que puede vivirse y conceptualizarse de múltiples modos, según la experiencia de cada uno y las prácticas culturales de las que participa.

El amor puede experimentarse como una atracción física irrefrenable, en los casos en que una relación sentimental se base en este tipo de aspectos relacionados con la apariencia física. Esta proyección metafórica se halla en oraciones como “me sentía irresistiblemente atraído por ella”. Por otro lado, el amor puede vivirse de un modo muy distinto, no como algo que se padece, sino como algo que se produce activamente, y que se trabaja y cultiva cada día, como en el ejemplo “se están labrando un bonito camino juntos”.

Estas metáforas pueden desarrollarse al combinar la experiencia del amor con el dominio de la química. Por ejemplo, en la oración “hay mucha química entre nosotros” se alude a la atracción que sienten dos elementos químicos entre sí para unirse, debido a su estructura atómica. De este modo, la metáfora de la atracción física pasa a desarrollar una proyección metafórica nueva del ámbito de la química, con propiedades nuevas, ya que en este caso la atracción a unirse es mutua y no unilateral, y tiene más que ver con una predisposición a unirse debido a la naturaleza de los amantes que a una mera atracción física.

Por otro lado, en la metáfora del amor como producto de una actividad, el ámbito de la química ofrece nuevas oraciones, como por ejemplo, “el éxito en el amor depende de la combinación precisa y exacta de múltiples elementos”. En este caso, la persona no se sitúa como un elemento químico, sino como un científico que pondera y mezcla diversos elementos para obtener la pócima o el compuesto deseado. Una vez más, esta nueva metáfora implica nuevas propiedades con respecto a la anterior. Ya no se trata de labrar un camino, sino de un tipo de actividad más sofisticada que implica un conocimiento específico, de modo que el amor no es apto para cualquiera.

Las proyecciones metafóricas incentivan la creatividad humana, y esto a su vez implica la reificación de nuevas prácticas culturales y artefactos, que modifican nuestra interacción y experiencia con nuestro entorno. Existen libros y películas de todo tipo que ofrecen determinadas visiones del amor, de manera que este tipo de proyecciones metafóricas se convierten en definiciones normativas de este concepto, y cada persona selecciona y modela sus hábitos y prácticas culturales tomando como referencia estos ideales o concepciones preconscientes.

Por otro lado, en una sociedad mercantil, las ideas adquieren *de facto* un valor de cambio específico, y se convierten en un artículo más de mercado, con el que se compra, se vende y se especula.

Finalmente, el concepto de tiempo ha dado lugar a algunas de las transformaciones técnicas más relevantes para nuestra sociedad. La proyección metafórica del tiempo como espacio nos permite concebir el tiempo como algo que se desplaza por una línea de una forma

continua, con unas unidades de medida específicas. Mediante artefactos como el reloj, la metáfora del tiempo como sustancia que se mueve a lo largo de un trayecto se convierte en una realidad. De este modo, la unidad de tiempo, que originalmente es indisociable de la interacción entre cuerpo, cerebro y mundo (Johnson y Lakoff 1999, pp. 167-168), adquiere una realidad objetiva, o dicho de otro modo, el tiempo queda objetivado.

Es a partir de este momento cuando tienen sentido las palabras de Noë de un apartado anterior, que afirma que un agente sólo sabe cuestiones relativas al tiempo, como la hora que es o el tiempo que falta para que comience o finalice un evento, en la medida en que tiene acceso a la información que le brinda el reloj, y sabe hacer sentido de la misma. Así, una vez objetivado el tiempo como una sustancia mesurable, puede ser verdad, objetivamente, que alguien dedica una hora de su tiempo a algo, o que en nuestra sociedad debemos gestionar nuestro tiempo, o que algunos objetos nos ahorran tiempo, o que no siempre utilizamos nuestro tiempo de un modo eficiente.

La creatividad de la cognición humana, en parte debida a este tipo de proyecciones metafóricas, emerge de la interacción entre la experiencia humana y las propiedades del lenguaje. A su vez, esta creatividad es indisociable de la transformación del mundo y de nuestras interacciones con él. Mediante la ciencia y la tecnología, estas transformaciones pueden dar lugar a la objetivación de algún concepto, como en el caso del tiempo. Para comprender mejor y en mayor profundidad estos procesos creativos y su relación con la capacidad transformadora de la cognición humana, veremos otro tipo de procesos cognitivos que se dan a través del lenguaje, similares en los aspectos fundamentales a las proyecciones metafóricas.

5.4.2. PROCESOS DE FUSIÓN CONCEPTUAL

A parte de las proyecciones metafóricas, se ha desarrollado un modelo de la cognición humana basado en lo que Fauconnier y Turner han denominado ‘fusión conceptual’ (*conceptual blending*) (Fauconnier y Turner 2002). Veamos un ejemplo de fusión conceptual muy arraigado en nuestra experiencia corporal. Los autores mencionan el caso de un profesor de esquí que utiliza una estrategia de fusión conceptual entre dos dominios para enseñar a sus alumnos a adquirir la postura correcta para el esquí. El profesor les hace imaginar que son camareros en París, que llevan una bandeja grande con el pedido de sus clientes, y deben evitar que se les caiga la bandeja, lo que implica una posición recta y erguida, manteniendo fijo el centro de gravedad, y una mirada firme al frente que ayude a adquirir la posición recta solicitada. La sensación imaginaria de llevar un peso como el de la bandeja ayuda a los alumnos a mantener una posición erguida y enraizada en el suelo. El cuerpo genera una presión contraria al peso imaginario, sintiendo con mayor fuerza la conexión de los pies al esquí, y de éste a la superficie. Además, la sensación de llevar objetos que pueden caerse con facilidad ayuda a fijar la estructura del cuerpo.

De este modo, el instructor utiliza astutamente una analogía oculta entre un aspecto de la moción del camarero, y la posición deseada para el esquí. Lo importante aquí es comprender

que esta analogía no tendría sentido fuera del espacio de fusión conceptual en la que se lleva a cabo. El profesor no está sugiriendo que un buen esquiador se mueve como un buen camarero, sin más. La fusión conceptual entre el espacio mental que incluye al camarero, y el que tiene que ver con el esquí no se genera a partir de un razonamiento meramente analógico. No estamos proyectando inferencias de un dominio-fuente a un dominio-meta de forma unilateral. Más bien, la utilidad de la fusión conceptual radica en la integración de información de ambos conceptos, para dar lugar a un espacio emergente fusionado que no se identifica con ninguno de ellos. Una vez la sensación de la posición y movimiento correctos en el esquí emergen y el novato la domina, la imagen de champagne y croissants puede dejarse a un lado. El esquiador no debe seguir pensando conscientemente en llevar bandejas. La fusión conceptual genera una sensación corporal nueva y única, que permite esquiar de forma adecuada, convirtiéndose así en un nuevo esquema anticipatorio que guía, en sí mismo, la conducta del agente (Fauconnier y Turner 2002, pp. 21-22).

La diferencia principal entre la fusión conceptual y la proyección metafórica es que en este último caso no hay una proyección unilateral de un dominio a otro, sino una integración de ambos dominios para dar lugar a un espacio mental emergente integrado. Sin embargo, desde un punto de vista neuronal, los principios subyacentes son equivalentes. Se trata de establecer semejanzas entre diferentes dominios en los que el agente participa y de los que tiene alguna experiencia. El establecimiento de estas semejanzas entre dominios diversos es posible gracias a la interacción de los patrones neuronales asociados a la actividad sensorimotora en diferentes dominios y las posibilidades que el lenguaje ofrece para estructurar la experiencia de los mismos mediante expresiones comunes. Al pertenecer muchos de estos dominios a prácticas culturales compartidas, los diferentes agentes pueden comunicar las semejanzas establecidas neuronalmente mediante el lenguaje, permitiendo la generación de fusiones conceptuales integradas que, una vez interiorizadas se convierten en una parte más de nuestra experiencia, como esquemas anticipatorios que guían nuestra exploración perceptiva y nuestra actividad en el mundo.

Para comprender un poco mejor los elementos de estas fusiones conceptuales, veamos el siguiente ejemplo, que los autores denominan “El Debate con Kant” (Fauconnier y Turner 2002, pp. 59-62). Un profesor de filosofía presenta sus ideas en clase del siguiente modo: “Yo pienso que la razón es una capacidad que se desarrolla por sí misma. Kant no está de acuerdo conmigo en esto. Él afirma que la razón es innata, pero yo creo que con eso no responde a la cuestión, de modo que en la *Crítica a la Razón Pura* él contraataca diciendo que sólo las ideas innatas son poderosas. Pero si yo planteo la cuestión de la selección del grupo neuronal, ¿qué me dice él? Pues no responde”.

El profesor no utiliza este razonamiento pensando que la clase le dirá que no es lógico porque Kant ya está muerto y, por tanto, no puede responder. Además, tampoco existía el argumento de los grupos neuronales en su contexto, de modo que no es lógico incluir este argumento en el debate. Más bien, el profesor extrae otro tipo de información relevante para

sus propósitos, con el fin de atraer la atención de la audiencia hacia otros aspectos del asunto, y dejando de lado este tipo de consideraciones.

La fusión conceptual subyacente a este texto es un producto de dos espacios mentales diferentes. Por un lado, tenemos el contexto del profesor, que habla a favor de unas tesis determinadas. Por otro lado, tenemos los escritos de Kant, a los que subyacen la experiencia y perspectiva del autor. En ninguno de estos contextos podemos extraer información de un debate. Sin embargo, ambos contextos tienen unas bases comunes, compuestas por pensadores que expresan ideas y argumentos, con un modo de expresión determinado, en función del idioma, los propósitos, la época, el tipo de cuestiones a las que querían responder, etc. La fusión conceptual de estos dos espacios, posibilitada por el espacio genérico, da lugar al encuentro de dos pensadores que cruzan ideas, argumentos y contrargumentos. Así, el esquema anticipatorio emergente del espacio resultante de la fusión conceptual nos permite generar inferencias sobre qué argumento responde a qué otro, qué interlocutor gana el debate, etc.

Para ello, el espacio mental fusionado selecciona y extrae información de los espacios de entrada que sea relevante para los propósitos del mismo. Por ejemplo, en el espacio integrado ambos interlocutores hablan un idioma común, se enfrentan a cuestiones comunes. Gracias a esta extracción de información, obtenemos que el profesor gana el debate a Kant, quien, a pesar de ser un gran intelectual, no se encuentra ya en lo más alto de la cima (Fauconnier y Turner 2002, p. 61).

En el ejemplo del debate con Kant encontramos todos los elementos de una fusión conceptual. Tenemos, en primer lugar, el cruce entre dos espacios mentales distintos, como son Kant y sus escrituras, por un lado, y el profesor y su lectura, por el otro. Las contrapartes incluyen a Kant y el profesor, sus respectivos idiomas, tópicos, afirmaciones, épocas, objetivos y modos de expresión.

Se produce también una selección de información en el espacio fusionado. Kant, el profesor, algunas de sus ideas, y la búsqueda de la verdad (objetivo común), son proyectados en la fusión conceptual. Sin embargo, otros elementos, como la época de Kant, el idioma de Kant, su modo de expresión, el hecho de que está muerto, y el hecho de que Kant nunca conoció al profesor ni sus ideas, quedan fuera del nuevo esquema.

Finalmente, se genera una estructura emergente a través de la composición de un nuevo espacio integrado con los elementos de los espacios mentales de entrada: obtenemos dos personas hablando al mismo tiempo. Mediante la información de otras prácticas culturales, como la del debate, podemos completar la información de este nuevo espacio emergente: la conversación entre ambos incluirá argumentos, contrargumentos, la carga emocional propia de un debate, la conclusión de que el profesor se encuentra en la vanguardia del pensamiento al haber superado a Kant, una de las máximas autoridades en la materia, etc. Finalmente, también hay integración de eventos, ya que las ideas de ambos interlocutores se integran en un espacio emergente unificado, permitiendo así apresar mediante las capacidades cognitivas

humanas, ancladas en la experiencia, la contraposición de dos autores en momentos distintos de la historia como una conversación ordinaria, con las que estamos mucho más familiarizados.

Con este ejemplo, hemos podido analizar los elementos básicos de la fusión conceptual, y la complejidad subyacente a este proceso cognitivo que emerge de la interacción entre cuerpo, mundo, cerebro, prácticas culturales y lenguaje. Estas fusiones conceptuales dan lugar a la generación de espacios mentales fusionados que se convierten en nuevos esquemas anticipatorios que guían nuestra percepción y actividad en el mundo. De este modo, la fusión conceptual transforma nuestra exploración del mundo y, por tanto, nuestra experiencia.

La fusión conceptual se halla, según esta teoría, en la base de las estructuras subjuntivas y contrafácticas de nuestro lenguaje, como puedan ser las oraciones "si yo fuera tú, no me hubiera quedado embarazada" (le dice un chico a su novia), o "La crisis no hubiera afectado del mismo modo al país con un gobierno popular". En ambos casos, estas oraciones tienen implícito un esquema anticipatorio de extracción de información que parte de la fusión conceptual de dos espacios mentales distintos, de los cuales se selecciona información y se combina esta información para dar lugar a inferencias resultantes a partir del espacio integrado, que selecciona elementos de ambos espacios mentales, y deja de lado otra información irrelevante para los propósitos del interlocutor.

Este tipo de fusiones conceptuales se hallan implícitas en la generación, comprensión y uso de artefactos. Por ejemplo, muchas de las armas que han utilizado los seres humanos a lo largo de su historia, como puedan ser lanzas o espadas, y utensilios, como los que utilizamos para comer (cuchillo, cuchara, tenedor), tienen propiedades relacionadas con aquello que quieren producir en el entorno (herir un enemigo, manipular alimentos), y con las características del cuerpo humano a la hora de manipular esos utensilios.

Estos artefactos tienen su origen en la fusión conceptual entre esquemas exploratorios relacionados con la capacidad de algunos animales de llevar a cabo determinado tipo de interacciones con más eficacia que los seres humanos, debido a sus estructuras corporales, y esquemas exploratorios del propio esquema corporal y de las estrategias sensorimotoras del cuerpo humano para manipular objetos de su entorno. Dejando de lado información con respecto al material específico y el modo como estas garras u otras partes del cuerpo del animal se incrustaban en su organismo, los seres humanos seleccionaron materiales de una dureza similar y proyectaron en ellos formas similares a las de las armas del animal.

De este modo, se puede iniciar un plan de acción para que las estructuras materiales del mundo sean cada vez más similares a la forma deseada, para generar los efectos percibidos en la acción de otros animales. Al mismo tiempo, estos objetos deben adaptarse a la forma de nuestro cuerpo (en especial a la de nuestras manos, ya que es desde ahí desde donde se agarrarán), y poseer la longitud y peso adecuados para maximizar sus efectos sin perder capacidad de manipulación sobre el objeto. Los estudios arqueológicos, que parecen no dejar lugar a duda en cuanto al origen prácticamente simultáneo del lenguaje y la fabricación de artefactos, constituyen una prueba a favor de esta tesis (Renfrew et al. 2009).

La fusión conceptual también se halla en el origen de instrumentos relacionados con la objetivación del tiempo, de la que venimos hablando en los últimos apartados, como es el caso del reloj. El reloj surge a partir del modelo genérico del "Día Cíclico". Ya que cada día implica la salida y puesta de Sol, los seres humanos podemos imaginar un día abstracto que mantiene esta propiedad común que se repite todos los días, dejando de lado cualquiera de las diferencias entre un día y otro, relativas a otro tipo de circunstancias. La sucesión de días puede representarse mediante un círculo que tiene fases correspondientes a los tres momentos que corresponden a la salida y puesta del sol y al mediodía, momento del día en el que el sol alcanza su máxima altura en el horizonte. Seleccionando información de la matemática, como el uso de segmentos como unidades de medida de longitudes espaciales, se puede fragmentar, en un espacio de fusión conceptual, el día cíclico abstracto en unidades, como si de un segmento se tratase (Fauconnier y Turner 2002, pp. 195-198). Éstas son las bases conceptuales del reloj, que, una vez mecanizado el movimiento de las piezas, se convierte en un instrumento real que, como ya hemos visto anteriormente, nos permite objetivar esta parte tan constitutiva de nuestra experiencia subjetiva. Muchos otros instrumentos como los indicadores de velocidad de los automóviles terrestres o aéreos o un detector de posición se basan en fusiones conceptuales similares, a pesar de guardar una mayor complejidad (Fauconnier y Turner 2002, pp. 198-201).

En resumen, la creatividad de la cognición humana es un producto emergente de una relación compleja entre cuerpo, entorno, cerebro, prácticas culturales y lenguaje. A su vez, la creatividad humana va aparejada a la transformación de nuestros esquemas anticipatorios, y a la transformación de nuestros hábitos y prácticas, y de las mismas estructuras materiales del mundo, con la generación de artefactos e instrumentos de medida. Todo esto implica que la creatividad de la cognición humana surge de la interacción de diversos aspectos de la experiencia, pero a su vez modifica las interacciones con el entorno y, por tanto, la experiencia misma. Imaginar que el ser humano puede volar, o que cuenta con grandes animales mitológicos, como dragones, que pueden transportarlo volando, es un producto de nuestra capacidad de producir fusiones conceptuales, pero, una vez que se fabrica el ala delta o el avión, se consolidan nuevas posibilidades de acción que modifican nuestra experiencia de un modo directo, y los espacios mentales se convierten, al menos parcialmente, en realidades. Freud denominó al ser humano Dios-prótesis, precisamente por su capacidad de generar nuevas posibilidades de acción que ampliaban su dominio de interacciones (Freud 1976a, 1976b).

A diferencia de utensilios que se producen artesanalmente y se perfeccionan mediante un conocimiento técnico, pudiendo ser similares entre ellos, pero no necesariamente idénticos, artefactos tecnológicos como un avión requieren una enorme precisión en la construcción y engranaje de las piezas, la mecanización del movimiento, la cuantificación de los factores relevantes para el vuelo, la aproximación de los aviones a una relación de identidad entre ellos que minimice la influencia de factores imprevistos en el diseño, etc. Este proceso de generación de identidad en el diseño requiere una precisión que pasa por la objetivación de los

factores relevantes para que el avión consiga realizar satisfactoriamente su función. La actividad científica, en parte por la fusión conceptual con el dominio de la matemática, es la estrategia de objetivación más potente de nuestra especie, y por ello le dedicaremos la última parte de la tesis.

6. CONCLUSIÓN

Esta segunda parte de la tesis nos ha permitido proponer un modelo experiencialista de la cognición, con el que hemos abordado algunas de las cuestiones esenciales de nuestro trabajo. En primer lugar, se trata de un modelo que cumple los requisitos de teoría unificada e integrada de la cognición humana. Es un modelo integrado porque incluye las propiedades de la cognición humana que en la primera parte del escrito se habían perfilado como propiedades consensuadas por la comunidad científica en el estudio de la cognición. En segundo lugar, también sienta las bases de una teoría unificada, porque engloba estas propiedades de la cognición en un todo organizado y coherente, que utiliza los diferentes aspectos de la experiencia humana para comprender la interrelación dinámica entre las diferentes propiedades de la cognición, que se dan en diversos niveles de la experiencia, y que se remontan en última instancia a la base corporal e interactiva del agente, y a su historia filogenética, ontogenética y social. De este modo, el modelo experiencialista es una propuesta como solución al "Scaling Up Problem", del que se habló en la introducción.

Al margen de esto, hemos visto como el modelo experiencialista integra las propiedades de la cognición en diferentes niveles de la experiencia, que van desde un polo más subjetivo a otro más objetivo. Por un lado, las bases filogenéticas compartidas, junto con las prácticas culturales que coordinan la actividad sensorimotora y la generación de sentido de los agentes, crean pautas de acción sistematizadas, representaciones y espacios simbólicos compartidos, redes de significación que vehiculan las categorías sociales y los comportamientos de los miembros de una comunidad, o la transformación de las estructuras materiales, que llevan consigo la construcción de artefactos y espacios técnicos de uso compartido.

Por otro lado, la experiencia humana, desde la que emergen los procesos cognitivos y sus propiedades, también tiene un componente subjetivador. La dinámica interactiva de cada agente es única e intransferible, a pesar de tener múltiples elementos comunes con el resto de miembros de su especie y los de su comunidad. Por otro lado, el contexto y los propósitos cambiantes de cada agente vehiculan sus procesos cognitivos y mecanismos atencionales, por lo que los procesos cognitivos de diversos agentes pueden diferir enormemente a pesar de compartir una historia biológica y cultural. Las diferencias de habilidad entre diferentes agentes en diferentes actividades, y el hecho de que los procesos cognitivos siempre estén mediados por las relaciones de semejanza entre los elementos del entorno, atendiendo a unos criterios interactivos determinados que pueden variar en un mismo agente según su contexto y propósitos, también contribuyen a que la experiencia de cada agente sea única, y que, por tanto, viva, estrictamente hablando, en su 'monde propre'.

Dentro de este fondo experiencial, hallamos algunos anclajes de la cognición, como el lenguaje, que es del que nos hemos ocupado en este apartado. Hemos presentado las propiedades del lenguaje humano como un reflejo de los diferentes niveles de la experiencia y las diferentes propiedades de la cognición asociadas a cada uno de ellos. Por un lado, la sintaxis, la semántica o el léxico compartido por los miembros de una comunidad son un reflejo de los aspectos más objetivados o intersubjetivados de la experiencia y la cognición, mientras que el uso variable del lenguaje, y la generación de proyecciones metafóricas e integraciones conceptuales entre dominios, serían un reflejo de los aspectos más subjetivos.

Pero el lenguaje es mucho más que un reflejo de la experiencia y la cognición humanas. Como anclaje del pensamiento, constituye un dominio que, a pesar de tener un fondo experiencial, se ha consolidado como un espacio interactivo con una autonomía relativa. La exploración del lenguaje constituye una auténtica extensión del pensamiento y la cognición, que permite llevar la experiencia humana más allá de sí misma, creando mundos posibles diferentes a la realidad compartida, y transformando las estructuras materiales del mundo, dando lugar a nuevas construcciones, artefactos y tecnologías.

El lenguaje, por tanto, es una de las herramientas de gestión de la experiencia y la cognición que permiten generar horizontes de significación y estructuras materiales comunes o intersubjetivadas. Al mismo tiempo, es una fuente de creatividad y de espacios mentales imaginarios, que lleva en última instancia a nuevas objetivaciones y dominios de la experiencia compartidos. Esta dinámica entre los polos objetivos y subjetivos de la experiencia y la cognición, que se interrelacionan a través del lenguaje, constituirán la base de la dinámica de las prácticas científicas. En la tercera parte veremos el modo en que estas relaciones dinámicas se ejecutan e implementan en la actividad científica, atendiendo esencialmente a la dinámica entre experimentación y teoría, a la luz de la teoría experiencialista de la cognición que hemos presentado en este apartado.

Parte 3: LA DINÁMICA DE LAS PRÁCTICAS CIENTÍFICAS

1. INTRODUCCIÓN

La investigación en ámbitos como la filosofía, la sociología, la historia, y otras disciplinas ha mostrado que la actividad científica es enormemente compleja. La ciencia combina elementos relacionados con la observación y la recopilación de datos, el diseño de experimentos para explorar algunos aspectos de la realidad o para confirmar alguna hipótesis teórica, el desarrollo de modelos conceptuales y teorías que ayuden a interpretar determinados efectos o resultados hallados experimentalmente, y también que permitan guiar la observación y el desarrollo de diseños experimentales posteriores.

Los últimos años en el estudio filosófico de la ciencia han puesto de manifiesto que tanto la Concepción Heredada como la Nueva Filosofía de la Ciencia ofrecían modelos de la actividad científica que permitían captar aspectos relevantes de la misma, pero que al mismo tiempo no permitían abarcar la complejidad de esta actividad. Ambos enfoques parten de una perspectiva teoreticista, que les hace definir la observación en términos lingüísticos y simplificar la dimensión práctica y experimental de la ciencia (Harré 2003). Más aún, tratan la observación con la experimentación como actividades prácticamente equivalentes en cuanto a su papel en la dinámica de la actividad científica. Finalmente, ambos enfoques construyen un modelo unidireccional de la ciencia, que en el primer caso va de la observación a la teoría, para acabar verificando dicha teoría con nueva observación y experimentación, y en el segundo caso sitúa la generación de teoría en primer lugar, determinando a partir de esta los tipos de métodos observacionales y experimentales considerados legítimos por cada comunidad científica.

Por el contrario, la tradición experimental, desde la que se han realizado las críticas mencionadas en el párrafo anterior, ha centrado sus esfuerzos en apresar esta complejidad, apuntando a una tipología de los experimentos que se llevan a cabo en la actividad científica (Ferreirós y Ordóñez 2002), y diferenciando cuidadosamente entre la actividad experimental y la observación (Hacking 1996). Los filósofos pertenecientes a esta tradición también han contribuido a consolidar la tesis de la autonomía relativa de la experimentación con respecto a la teoría, así como la carga experimental de algunas teorías científicas (Ferreirós y Ordóñez 2002). En todos estos sentidos, la tradición experimental se aproxima más al ideal de un modelo integrado que permita dar cuenta de la actividad científica en toda su complejidad, teniendo en cuenta sus diferentes aspectos y las relaciones entre ellos.

No obstante, esta aproximación ha centrado sus esfuerzos en sacar a la luz las limitaciones de las anteriores generaciones en filosofía de la ciencia, y a desmarcarse de su sesgo teoreticista. Por ello, la tradición experimental ha subrayado la independencia y autonomía de teoría y experimentación, más que sus relaciones e interdependencia (Radder 2003a, 2003b). En este sentido, no ha ofrecido todavía una propuesta de teoría unificada de la actividad científica, a pesar de haber contribuido a la toma de conciencia de la complejidad de la ciencia y de sus múltiples aspectos.

Desde nuestro punto de vista, consideramos que la tradición experimental ha supuesto un avance en la comprensión de la actividad científica, ya que se aproxima más a la complejidad de la misma. Nuestra tesis es que la tradición experimental puede seguir avanzando en el desarrollo de un modelo comprensivo, unificado e integrado de la actividad científica, manteniendo sus tesis fundamentales. Para ello, nos parece una buena estrategia la de utilizar elementos de las ciencias cognitivas, siguiendo la línea de Giere (1990) o Nersessian (1995). En nuestro caso, el modelo experiencialista de la cognición humana, presentado en el apartado anterior de este trabajo, será el marco cognitivo desde el que trabajaremos para contribuir a esta relación entre la tradición experimental y el estudio de la cognición, que nos permita seguir avanzando en la comprensión de la actividad científica y las múltiples relaciones entre sus aspectos teóricos y prácticos.

El modelo experiencialista nos parece un modelo adecuado por las siguientes razones. En primer lugar, es un modelo que tiene el objetivo de aproximarse al ideal de una teoría integrada y unificada de la cognición humana, ya que abarca muchas de las propiedades de la misma, desde las más básicas hasta las más sofisticadas, abstractas y estructuradas, y lo hace de un modo coherente, relacionando estas propiedades entre sí, en la medida en que son parte de diferentes aspectos de la experiencia humana. Ya que la ciencia constituye una actividad compleja, en la que intervienen multiplicidad de procesos cognitivos tanto sensorimotores como lingüísticos (Ferreirós 2007), creemos que una teoría de la cognición que quiera dar cuenta de la misma debe ser, a su vez, capaz de dar cuenta de la complejidad de los procesos cognitivos, tanto de sus propiedades como de las relaciones bidireccionales y dinámicas entre ellas. Consideramos que en la segunda parte se ha argumentado suficientemente el modo en que el modelo experiencialista hace esto.

En segundo lugar, el modelo experiencialista tiene el propósito de basar todas las propiedades de la cognición en diferentes aspectos de la experiencia humana, que en última instancia se remonta a la interacción entre un organismo con unas propiedades y estructuras corporales y fisiológicas determinadas, y un mundo compuesto de objetos que interactúan entre sí y que tienen una serie de propiedades determinadas. En este sentido, el modelo experiencialista tiene un paralelismo notable con la tradición experimental en cuanto a sus tesis fundamentales, en la medida en que ambos mantienen el propósito de no perder de vista las bases interactivas y materiales de la cognición abstracta y la teorización, por muy sofisticada que ésta sea. Esto debería facilitar la complementariedad y colaboración de ambos modelos en una comprensión de la ciencia.

En último lugar, el modelo experiencialista puede ayudar a que la tradición experimental progrese en su intento de explicar las relaciones complejas y bidireccionales entre la teorización y la conceptualización, por un lado, y la experimentación y la observación, por el otro. La razón de esto es que el modelo experiencialista permite, en el estudio de la cognición humana, ofrecer una posible salida al “Scaling Up Problem”, situando los aspectos abstractos, simbólicos, representacionales y computacionales de la cognición en el seno de la experiencia, pero también poniendo de manifiesto que ésta, en la medida en que algunas de sus

propiedades emergen de aspectos culturales y lingüísticos de la experiencia, permite llevar a cabo cambios o modificaciones de las estructuras materiales del mundo, así como del propio uso del cuerpo, y de la interacción entre agente y entorno, mediante la creación y uso de artefactos.

Así, la cognición y la experiencia no sólo guardan una relación unidireccional, según la cual la primera emerge de la segunda, sino que se acoplan en una relación dinámica en la que algunas propiedades de la cognición que se hallan en determinados aspectos de la experiencia implican cambios de la propia experiencia en otros niveles, estableciendo así una relación compleja, dinámica y bidireccional. Consideramos que la tradición experimental puede nutrirse de esta manera de entender la relación entre cognición y experiencia a la hora de ofrecer una explicación satisfactoria de la relación entre teorización y experimentación, sin abandonar la idea de que la experiencia, o la práctica, mantienen una primacía con respecto a la teoría.

En este apartado, analizaremos en primer lugar los aspectos nucleares de la actividad científica, como son la experimentación y los modelos teóricos, de un modo independiente, con el fin de caracterizar cada uno de estos aspectos de la ciencia por separado, en conexión con las propiedades de la cognición y la relación bidireccional entre experiencia y cognición. La idea básica será la de ver el modo en que la experimentación y la teoría constituyen dos maneras distintas pero complementarias de utilizar y gestionar los recursos experienciales y cognitivos, de tal modo que la experimentación tiende a potenciar los aspectos más vinculados al polo objetivo de la experiencia, mientras que la teorización tiende se aproxima más a las propiedades de la cognición ligadas al polo subjetivo de la experiencia, entendiendo estos conceptos a la luz de lo expuesto en el apartado anterior.

A continuación, analizaremos el modo en que teoría y experimentación se funden en una dinámica bidireccional e interactiva que denominaremos “dinámica de las prácticas científicas”. La idea fundamental es que la actividad experimental es una fuente de descubrimiento de regularidades, así como de justificación de ciertas hipótesis o expectativas en la investigación. Sin embargo, la extensión de la actividad experimental a nuevos dominios que son de más difícil acceso a la experiencia humana, requieren de modelos teóricos que hacen de puentes entre dominios de la experiencia más objetivados y otros menos objetivados. Los modelos teóricos quedarán concebidos, pues, como proyecciones metafóricas que permitan analizar un dominio de la experiencia a la luz de otro. Esta estrategia es fundamental en la actividad científica, en la medida en que estas proyecciones metafóricas de los modelos teóricos permiten elaborar integraciones conceptuales entre los dominios de la experiencia que se quieren investigar y el dominio de la matemática.

Dedicaremos el tercer apartado a analizar la matemática, desde sus bases experienciales y cognitivas hasta su capacidad de generar dominios de la experiencia emergentes. La geometría o la aritmética serán los dominios que analizaremos, con tal de ver el modo en que la matemática se convierte en una herramienta de objetivación de la experiencia, en la medida en que permite construir un conjunto de procedimientos y objetos de estudio de fácil replicabilidad. La proyección de estos nuevos dominios de la matemática sobre

otros dominios de la experiencia es la base de los modelos teóricos y de su papel en la dinámica de las prácticas científicas, en tanto que esquemas cognitivos que permiten acceder a nueva información en estos dominios, y generar inferencias e hipótesis que llevarán consigo la transformación de las estructuras materiales del mundo, con el fin de generar diseños experimentales, artefactos e instrumentos para producir fenómenos que permitan poner a prueba las hipótesis mencionadas.

En el cuarto apartado utilizaremos las investigaciones del movimiento por parte de Galileo para ilustrar el modo en que la experimentación y los modelos teóricos se coordinan y complementan en una dinámica conjunta que da lugar a la transformación de las estructuras materiales del mundo, de tal modo que se acceden a nuevos horizontes de la experiencia, con un mayor grado de control y precisión, que dan lugar a nuevas estabilizaciones interactivas de acceso común, y potencialmente replicables, mediante procesos interactivos sistemáticos y estructurados en entornos controlados.

A partir de estas nuevas estabilizaciones interactivas, la dinámica de las prácticas científicas avanza desde dominios objetivados de este modo hacia dominios aún por objetivar, mediante una cooperación entre teoría y experimentación, con el puente de la matemática. La física newtoniana será el ejemplo que utilizaremos para ilustrar esta dinámica progresiva que avanza en espiral hacia la objetivación de nuevos dominios de la experiencia. Hasta aquí habremos analizado la dinámica de las prácticas científicas de un modo conjunto, para ver cómo teoría y experimentación trabajan conjuntamente para transformar y objetivar la experiencia humana.

En el último apartado veremos que esta complementariedad no implica que estos dos aspectos de la ciencia guarden una autonomía relativa entre sí. A partir del ejemplo del electromagnetismo, veremos que la generación de modelos teóricos sólidos en este dominio requirió la realización de series experimentales que dieron lugar a un conjunto de estabilizaciones interactivas compartidas. Sólo así fue posible construir modelos teóricos que permitieran hacer avanzar a la investigación científica. En este sentido, hablaremos de una carga experimental o experiencial de la teoría, más que de una carga teórica de la observación.

Finalmente, también veremos que los modelos teóricos tienen diferentes niveles interpretativos y de compromiso. Por ejemplo, en el caso del electromagnetismo los modelos teóricos se interpretaron mayoritariamente como modelos geométricos de visualización que permitían desarrollar hipótesis o explicar leyes empíricas, sin por ello comprometerse con la existencia física de los constructos de estos modelos. Solamente cuando la interpretación física se hizo indispensable para dar sentido a la actividad experimental, y para desarrollar nuevos diseños experimentales, entró esta dimensión de los modelos teóricos en la dinámica entre teoría y experimentación. Por tanto, además de la carga experimental en el contexto de descubrimiento, la experimentación también tiene una jerarquía con respecto a los modelos teóricos en el contexto de justificación, puesto que sólo se concede importancia a las interpretaciones físicas de los modelos teóricos en la medida en que tienen una incidencia directa en la actividad experimental.

En síntesis, la experimentación y la teoría serán los ejes de la dinámica de las prácticas científicas, ya que de su relación dinámica emergen los resultados más notables de la actividad científica, esto es, la objetivación de nuevos dominios de la experiencia a partir de dominios previamente objetivados. Sin embargo, esto no quiere decir que tanto la actividad experimental como la teoría no guarden una autonomía relativa la una de la otra, y que, además, la actividad experimental tenga una primacía con respecto a la teoría.

2. ASPECTOS DE LA ACTIVIDAD CIENTÍFICA: TEORÍA Y EXPERIMENTACIÓN

La ciencia se compone de diversas disciplinas, que pueden dividirse en categorías como ciencias naturales y sociales, duras y blandas, puras o experimentales. La actividad científica se encarga de producir un tipo determinado de conocimiento y, como partimos de un modelo experiencialista de la cognición, podemos decir que, por tanto, tiene el propósito de producir un tipo determinado de experiencia. Para ello, utiliza los recursos de la experiencia y la cognición humana de un modo determinado, distinto al de otras prácticas, como puedan ser el arte o la política.

El ideal de la ciencia es el de generar experiencias que son replicables por parte del resto de agentes humanos, independientemente de su raza, color, sexo, religión, circunstancias personales, intereses, etc. Este tipo de experiencias va asociado a un ideal de conocimiento generalizable, que vaya más allá de las circunstancias particulares del científico y su contexto local, ya que de otro modo la replicabilidad mencionada sería inviable.

Este objetivo ideal requiere una metodología, o reglas del juego de la actividad científica, determinadas. Siendo muy sintéticos, el conocimiento científico requiere de un vocabulario preciso e inequívoco, que se corresponda con métodos y procedimientos que otorguen a la actividad científica de la mayor sistematicidad y estructuración posibles, con tal de que estos procedimientos puedan replicarse tantas veces como se requiera, mediante una comprensión adecuada de los protocolos y descripciones correspondientes a dichos procesos.

La metodología científica en sus diversas versiones y disciplinas cuenta con tipos de estrategias distintas que van desde la observación rigurosa y sistemática de entornos naturales a metodologías experimentales, con un mayor grado de control y manipulación de los factores y variables relevantes por parte del científico, pasando por una serie de estrategias intermedias con diferentes niveles de control, que se engloban bajo la categoría de métodos cuasiexperimentales. A pesar de que la metodología experimental cuenta en ocasiones con algunos problemas epistemológicos de validez, constituye el ideal de producción de conocimiento que satisface los criterios de univocidad lingüística y conceptual, y sistematicidad y estructuración de la experiencia y de los procedimientos interactivos para la obtención de un conocimiento fiable que parte de una experiencia reproducible y replicable. Por ello, iniciaremos nuestro análisis de los aspectos de la ciencia desde la metodología experimental, como un tipo de experiencia que más se aproxima al ideal científico.

A pesar de que nos parecen importantes, dejaremos de lado en este trabajo distinciones conceptuales como la que hay entre modelos conceptuales y modelos teóricos, o

entre experimentación y observación, por quedar al margen de nuestro hilo argumentativo central, y trataremos exclusivamente la actividad experimental y los modelos teóricos, ya que nos parecen los aspectos más esenciales y distintivos de la ciencia.

2.1. EL EXPERIMENTO CIENTÍFICO COMO EXPLORACIÓN SISTEMÁTICA DEL ENTORNO

En el capítulo anterior, en el que presentábamos el modelo cognitivo experiencialista, vimos que la experiencia humana está constituida por diferentes niveles y dimensiones, relacionados entre sí. La corporalidad y la interacción con las estructuras materiales y las propiedades físicas del entorno son la base de la experiencia, el lugar desde el que emerge toda experiencia y cognición, y el lugar en el que se reflejan todos los procesos cognitivos y lingüísticos. Este aspecto corporal e interactivo de la experiencia se compone en cada individuo de la herencia común con su linaje biológico, o historia filogenética, compartida con los miembros de la especie, así como de la interacción con el entorno a lo largo de su dinámica interactiva, o historia ontogenética. Por tanto, por un lado, la experiencia humana es objetiva (o intersubjetiva, con unas bases comunes para todos los miembros de la especie), y subjetiva, por el otro, en la medida en que cada agente desarrolla unos niveles de habilidad en la exploración y acoplamiento estructural en diversos entornos, y que tiene diferentes propósitos y mecanismos atencionales en cada caso. La conclusión es que, a pesar de existir unas bases estructurales y sensoritmotoras comunes, puede considerarse que cada agente vive, en última instancia, en su 'mundo propio' (Hutchins 2011).

La participación en prácticas culturales compartidas, y el desarrollo de un aspecto esencial de la experiencia humana, como es el lenguaje, permiten modular la experiencia interactiva de los agentes, ayudando a desarrollar procesos de enculturación comunes que permiten coordinar y homogeneizar hasta cierto punto las dinámicas interactivas de los diferentes miembros del grupo, dando lugar a un cierto horizonte de sentido común, y a unas bases comunes para la experiencia. Estas prácticas culturales permiten generar pautas de comportamiento estructuradas, compartidas por los miembros del grupo, que se plasman en la semántica y la sintaxis subyacentes a su lenguaje, redes de significación compartidas, que se consolidan en un léxico común, representaciones compartidas que se plasman en rituales y mitologías o cosmovisiones comunes, y fusiones conceptuales y proyecciones metafóricas que permiten desarrollar estas mitologías, y que permiten transformar el entorno de una forma activa y deliberada, mediante la construcción de artefactos e instrumentos que facilitan la coordinación entre diferentes agentes, y la adaptación del grupo a su entorno.

Este tipo de prácticas culturales y lingüísticas nacen de la corporalidad humana y su interacción con el entorno, y a su vez transforman esta interacción, dando lugar a patrones interactivos comunes. A pesar de esta base corporal e interactiva común, cada grupo cultural o sociedad humana genera, mediante estas prácticas y cosmovisiones, un mundo compartido entre ellos, pero distinto en gran medida al de otros grupos o sociedades. En algunas sociedades, como la Antigua Grecia, los viajes y contactos entre diferentes comunidades

permitieron una toma de conciencia de esta capacidad de las prácticas culturales y la estructura y productividad del lenguaje de imaginar mundos posibles y perspectivas prácticamente ilimitadas sobre una cuestión o asunto. Esto, que permitió el desarrollo de la retórica y la oratoria, y que para algunos maestros de la palabra, como los sofistas, se convertiría en una fuente de riquezas y admiración, constituiría para otros, como Platón, un problema, que le llevaría a la necesidad de dar con una metodología y unas estrategias que permitieran llegar a desarrollar procesos cognitivos comunes, que fueran acompañados de una experiencia común por parte de toda la especie humana, que además coincidiese con la verdadera naturaleza del cosmos (Hadot 1998).

La lógica aristotélica puede considerarse la culminación de esta tradición, cuyo objetivo era el de establecer unas bases comunes de la experiencia humana a través de los procesos cognitivos que permite el lenguaje. Ello implicaba desarrollar unas estrategias y unos usos del lenguaje determinados. En el caso de la lógica aristotélica, se trataba de hallar un conjunto de experiencias de las cuales se pudiese inducir algún principio universal subyacente (por ejemplo, 'todos los hombres son mortales'). Al obtener oraciones generales (o universales) de este tipo, se podían llevar a cabo inferencias y razonamientos deductivos relacionados con entidades concretas (como en el caso del ejemplo clásico que estamos utilizando, de la oración anterior y de la oración 'Sócrates es un hombre', puede deducirse que 'Sócrates es mortal') (Crowley y Hawhee 2009).

Así, mediante este uso determinado del lenguaje, la experiencia humana podría estructurarse y sistematizarse, captando, mediante inducción, las formas o esencias de los objetos con los que interactúamos en nuestra vida cotidiana, y dejando constancia de estas relaciones formales mediante enunciados de este tipo, que relacionan sustantivos y adjetivos con el uso del verbo copulativo 'ser', para realizar, en una segunda etapa, un conjunto de deducciones basadas en estas oraciones generales, que a su vez se anclan en la inducción que proporciona la experiencia.

El sistema aristotélico se basaba en inducciones que daban lugar a enunciados generales que constituían la base de los razonamientos deductivos relativos a los objetos físicos, como por ejemplo que 'todos los objetos se mueven naturalmente hacia el lugar que corresponde al elemento o elementos de los que está formado', que 'todo movimiento que no sea de este tipo se debe a la influencia de una fuerza externa, y que cesa en el momento en que ésta desaparece', o que 'los planetas que giran alrededor de la Tierra y las estrellas fijas del mundo supralunar, se mueven en órbitas circulares, por ser éste el tipo de movimiento más perfecto, correspondiente a estos cuerpos divinos'. Estos enunciados generales se construían a partir de experiencias particulares con elementos que pertenecían a las categorías de los enunciados.

Fue en el Renacimiento cuando se comenzaron a realizar las críticas más incisivas al sistema aristotélico. La inducción aristotélica, de la que nacían los enunciados de tipo universal, que vehiculaban los razonamientos de tipo deductivo, se basaban en ocasiones, para algunos hombres del Renacimiento, en un conjunto de experiencias pobres en relación al fenómeno del

que trataban. Por tanto, si los enunciados universales se basaban en un número limitado de experiencias, éstos podían no estar siendo acertados, de modo que el conjunto de deducciones basadas en los mismos no tenían por qué ser siempre compartidas por todos.

Por otro lado, y en relación con esto, la tradición platónico-aristotélica había mantenido una distinción importante entre la vida práctica y la vida teórica y contemplativa, de modo que la técnica y la manipulación de los recursos del medio iban por un lado, y la investigación acerca de la naturaleza del cosmos iba por otro. Esto hacía que las experiencias en las que los intelectuales se basaban para construir los enunciados universales eran muchas veces experiencias ingenuas, basadas en una observación del entorno, sin utilizar estrategias o técnicas de control y manipulación para cuestionar la naturaleza de diferentes modos.

En este contexto es en el que hay que situar la propuesta de Bacon (2000), alternativa a la lógica aristotélica, que tuvo una enorme influencia a la hora de llevar a cabo la transición desde el método aristotélico de experiencia y razonamiento hacia la actividad y la lógica experimental propias de la ciencia. Frente a la lógica aristotélica, Bacon plantea que la obtención de conocimiento riguroso y fiable debe basarse en el control y manipulación sistemáticos de los factores del entorno que rodean al fenómeno de interés en un proceso exploratorio.

Así, si se está estudiando un fenómeno determinado, la exploración del mismo debe llevarse a cabo en múltiples situaciones diferentes, que incluyen la presencia y ausencia de otros factores que pueden estar asociados de algún modo u otro con el mismo. La manipulación de factores del entorno no sólo debe implicar su presencia y ausencia, sino también sus diferentes grados de intensidad. De este modo, se puede extraer información rigurosa en torno a la variación de un fenómeno de estudio en cuanto a su aparición e intensidad, y relacionando estos cambios con la presencia o ausencia de otros factores relevantes con diferentes grados de intensidad.

El proceso consiste en ir variando unos factores de interés mientras se mantienen otros constantes, y analizar la influencia de estos cambios en los resultados obtenidos (Carnap 1985, p. 66). En una actividad experimental de carácter exploratorio, no existe una teoría sólida de base, de modo que el proceso finaliza cuando se hallan unas regularidades determinadas que pueden replicarse de forma sistemática por parte de los científicos que han realizado el experimento y, posteriormente, por parte de otros científicos (Steinle 2002a, 2002b, Radder 1995). Este es un modo de uso y gestión de la dinámica entre experiencia, cognición y lenguaje, que permite el acceso a estabilizaciones interactivas replicables por diferentes agentes en diferentes momentos y contextos.

Bacon presenta en su obra un estudio del calor, basándose en los principios metodológicos mencionados. Para ello, enumeró un conjunto de ‘instancias positivas’ en las que aparece este fenómeno (rayos de sol, llamas…). Por otro lado, también realiza una lista de ‘instancias negativas’ en las que no aparece (rayos de la luna, agua, aire…). En tercer lugar, Bacon analiza los ‘grados de comparación’, como por ejemplo la variación del calor animal con el calor del ejercicio, o el calor de fricción con el del movimiento que lo produce. A partir de aquí,

se trataba de ensayar diversas hipótesis, excluyendo las menos probables y explorando más a fondo las más plausibles. Para ello, se recurriría a otras 'instancias' que permitieran discriminar entre hipótesis rivales, en las que el fenómeno de interés se aislara de las asociaciones con otros fenómenos que arrojaran dudas, u otras 'instancias' en las que el fenómeno se presentara en su mayor intensidad. Bacon concluía de este modo que la esencia del calor no era otra que el movimiento, puesto que, después de esta larga serie de exploraciones, el calor aparecía allí donde había movimiento, y se intensificaba con él.

En resumen, el método baconiano no partía de un conjunto limitado de experiencias desde el cual generar enunciados universales mediante un proceso inductivo, sino que, con un uso distinto del lenguaje, y de la estructuración y sistematicidad de la experiencia, variaba de una forma sistemática las condiciones de exploración de un fenómeno, dando lugar a un conjunto heterogéneo de experiencias y de las circunstancias en las que el fenómeno estudiado se presentaba o no aparecía, y en las que, cuando aparecía, lo hacía en diferentes grados de intensidad. Esta manipulación y variación sistemática de las condiciones y circunstancias que rodeaban al fenómeno de interés garantizaban que los enunciados en torno a los aspectos esenciales tuvieran una carga experiencial más sólida que los generados mediante inducción aristotélica.

Por otro lado, Bacon sostenía que esta exploración de un fenómeno, variando de forma sistemática las condiciones de aparición e intensidad, tendría un mayor alcance y rigor si se utilizasen los diferentes instrumentos y artefactos que formaban parte de las prácticas culturales humanas, gracias al desarrollo de la técnica y la industria. A diferencia de la tradición aristotélica, Bacon veía con buenos ojos el uso de artefactos e instrumentos que permitían acceder a aspectos de los fenómenos naturales estudiados que de otro modo quedaban fuera del alcance de la experiencia humana. Para Bacon, el desarrollo científico y el desarrollo técnico tenían unas bases metodológicas comunes, y ambos podían beneficiarse mutuamente (Arabatzis 2008).

Por ejemplo, Bacon menciona casos como los de Norman o Gilbert, que se desplazaron de la investigación basada en libros y experiencias pasadas, a la investigación basada en la *práxis* y la acumulación de experiencia propia, mediante el cuestionamiento sistemático de la naturaleza, llevado a cabo con el uso de artefactos como la brújula, uno de los avances técnicos clave para el desempeño de prácticas como la navegación. Norman, por ejemplo, halló que una aguja magnética suspendida por su centro no sólo señalaba al norte, sino que formaba un ángulo de inclinación con respecto a la vertical. Norman también pesó limaduras de hierro antes y después de magnetizarlas, con tal de comprobar si el magnetismo era ponderable. Haciendo flotar un imán sobre el agua por medio de un corcho, halló que el imán sólo giraba en la dirección norte-sur. Todo esto había sido descubierto por "experiencia, razón y demostración" (Gilbert, citado en Mason 2001, vol. 2, p. 22). En una discusión relativa a cuestiones magnéticas en la navegación, como por ejemplo la diversidad de la desviación de la brújula respecto al verdadero norte en diferentes lugares, Norman concluía que esta desviación no varía regularmente de un lugar a otro, como creían algunos marinos, ya que "a pesar de sus

viajes, en general han seguido más a sus libros que a la experiencia en estas cuestiones" (Gilbert citado en Mason 2001, vol. 2, p. 22).

Otro investigador de la época, Gilbert, construyó piedras imán denominadas "tierrecillas", cartografiando sus meridianos magnéticos con una brújula y tiza. Explorando las formas de sus piedras imán, mostró que las de forma esférica presentaban el fenómeno de la inclinación descubierto por Norman, o que las de superficie irregular poseían meridianos magnéticos irregulares. Finalmente, descubrió que las piedras imán armadas de hierro multiplicaban sus propiedades magnéticas, así como la proporcionalidad entre el tamaño de las piedras imán y su poder de atracción sobre un trozo de hierro (Mason 2001, vol. 2, pp. 23-24).

Así, a partir de los esquemas exploratorios que se desarrollan en el curso de la experiencia, el nuevo método experimental naciente permitía explicitar las condiciones de estos esquemas, y variarlas sistemáticamente, para generar de un modo deliberado, y mediante la manipulación activa del entorno, una multiplicidad de esquemas exploratorios relacionados con un mismo fenómeno, hasta dar con invariancias y esquemas exploratorios que permitiesen anticipar, de modo sistemático, la aparición del fenómeno de estudio, así como su grado de intensidad, dadas unas circunstancias o condiciones experimentales determinadas.

Este adiestramiento de la experiencia mediante los recursos cognitivos derivados de los aspectos lingüísticos de la misma comenzó a consolidarse en la tradición filosófica y científica, desplazando gradualmente el método aristotélico, así como su sistema del mundo. Los padres de la nueva filosofía natural, que culminaría con la revolución científica, utilizaron esta nueva metodología experimental, y la defendieron de una forma activa. Incluso el propio Newton, cuya obra estaba más basada en la deducción matemática, no deja de repetir a lo largo de sus *Principia* que en última instancia las deducciones que él realiza deben estar basadas, dar sentido, y ser coherentes, con la actividad experimental (Newton 2010). Incluso él mismo realizó series de experimentos en el campo de la óptica o en sus intentos de medir la velocidad del sonido. Otros, como Robert Boyle, se mantuvieron fieles y desarrollaron la experimentación como modo de obtención de conocimiento, persiguiendo la replicabilidad de sus procedimientos y resultados, y realizando algunos de sus experimentos con la presencia de testimonios que pudieran dar cuenta de la estructuración y sistematicidad de los mismos.

Las investigaciones de Newton con prismas, en las que dejaba entrar un rayo de luz por un pequeño agujero en una habitación a oscuras, representan uno de los ejemplos clásicos de metodología experimental. A pesar de que Newton publicó inicialmente el relato de dos experimentos cruciales y definitivos, el tiempo y las dificultades por parte de otros científicos de reproducir sus resultados, le llevaron a publicar una serie de diez experimentos en los que variaba de modo sistemático los factores relevantes en la producción del fenómeno de la división del rayo de luz blanca en la gama de colores del arco iris.

Entre sus experimentos, Newton colocaba dos prismas yuxtapuestos en sentidos contrarios, de tal modo que la refracción producida por uno compensase la del otro, obteniendo de este modo una luz blanca a partir de la gama de colores en que se había descompuesto el

rayo de luz blanca inicial. Esto no era compatible con la idea de que el espectro de colores no era resultado de la descomposición de la luz blanca.

También empleó tres prismas que proyectan sus espectros sobre una misma pantalla, mezclando los espectros de colores sin que coincidieran exactamente, volviendo a sintetizar de este modo luz blanca. Finalmente, utilizó un prisma y a continuación una lente que hacía converger los rayos, sintetizando de nuevo luz blanca. Esta reversibilidad del fenómeno daba un mayor peso a la idea de Newton de que los cristales podían descomponer la luz blanca en el espectro de colores que la conformaban, más que ser ellos mismos los responsables de la aparición del espectro, como algunos investigadores parecían sugerir. Newton incluso recurrió a prismas rellenos de agua con tal de anular la posibilidad de atribuir el fenómeno a la composición particular del prisma.

La serie experimental de Newton con el uso de prismas es un buen ejemplo de la nueva metodología experimental apuntada por Bacon, consistente en la variación sistemática de las condiciones asociadas a la producción de un fenómeno, con el uso de instrumentos y artefactos que permitan extraer nuevas informaciones de dichos fenómenos, con el fin de hallar los aspectos esenciales de la producción del mismo.

Los experimentos de Newton, junto con otros como los que veremos a continuación, relacionados con la distinción entre calor específico y latente, ponen de manifiesto la importancia de estas series experimentales para la práctica científica desde sus orígenes, en la medida en que constituían una auténtica carga experimental de los conceptos y teorías que se desarrollarían posteriormente. Tal peso era el que Newton concedía a sus experimentos con prismas, que le llevaron a argumentar a favor de la teoría ondulatoria de la luz como mejor explicación para los fenómenos que estaba produciendo en el laboratorio, a pesar de que su teoría de la luz, y su filosofía natural en general, era marcadamente corpuscular. Es decir, sus concepciones teóricas no iban por delante de su actividad experimental.

En el ámbito del estudio de los gases, se conocía desde tiempos de Galileo, mediante el uso de las bombas de succión para extraer agua de las minas, que éstas no podían elevar el agua a más de 10,5 metros. Con el fin de desafiar la explicación teleológica aristotélica, según la cual el agua se elevaba para llenar ese vacío, ya que el sistema aristotélico parte de la base de que la naturaleza aborrece el vacío, Torricelli realizó varios experimentos en los que variaba algunas de las condiciones experimentales que iban en contra de esta hipótesis, y a favor de la visión mecanicista, según la cual sería la presión del aire, y no el horror al vacío, lo que explicaría esta elevación del agua hasta una altura determinada. Torricelli demostró, utilizando otros elementos como el mercurio, que la misma bomba de vacío que elevaba el agua 10,5 metros, sólo era capaz de elevar el mercurio, más denso que ésta, 0,76 metros.

Torricelli sustituyó incluso la propia bomba de vacío por un simple instrumento conocido como el barómetro de Torricelli. El procedimiento consistía en llenar con mercurio un tubo con una longitud superior a 0,76 metros. Posteriormente, se invierte el tubo introduciendo su extremo en un recipiente de mercurio, y se quita el dedo. Esto hace que el nivel de mercurio en el tubo baje hasta una altura de 0,76 metros sobre el nivel de mercurio en la cubeta, quedando

en la parte superior del tubo el vacío. Más adelante, Torricelli repitió el mismo procedimiento con un tubo que tenía un gran bulbo en el espacio vacío, permitiendo así introducir en él diversos objetos y animales, explorando su comportamiento en un entorno vacío. De este modo, Torricelli no sólo puso de manifiesto que con la bomba de vacío no podía succionar más de 0,76 metros, y que mediante el barómetro podía generarse un espacio vacío en la parte superior del tubo, lo que parecía ir en contra de la opinión común de que la naturaleza aborrece el vacío, sino que dio pie a la exploración sistemática de lo que sucedía con diferentes objetos dentro del mismo.

Este tipo de experimentos permitieron sacar a la luz aspectos que resultaban alejados de la intuición, como por ejemplo que la altura del mercurio en el tubo no depende del diámetro del tubo o del tamaño de la cubeta. Esto permitiría precisar más adelante el concepto mismo de presión, como la fuerza que se ejerce en una superficie dada, creciendo la presión de modo inversamente proporcional a la superficie de aplicación de la fuerza.

Siguiendo en la misma línea, Boyle continuó realizando experimentos con la bomba de vacío y el barómetros de Torricelli. Utilizó y perfeccionó la bomba de vacío, diseñando un espacio experimental, hallando que los animales pequeños quedaban inconscientes y podían llegar a morir estando dentro de la misma. Al colocar un barómetro dentro de un recipiente cerrado y extraer el aire del recipiente mediante succión, el nivel de mercurio descendía en el barómetro a medida que se extraía el aire, hasta que éste alcanzaba el mismo nivel que el mercurio en la cubeta. Este nuevo diseño experimental parecía poner de manifiesto que era la presión atmosférica exterior la que mantenía el mercurio en el tubo, y no el propio vacío el que succionaba en la parte superior del tubo.

Con tal de combatir contra teorías pseudomecánicas como la del funiculus de Linus, según la cual el espacio aparentemente vacío contenía una cuerda invisible (*funiculus*) que atraía una fuerza atractiva violenta sobre todos los objetos de los alrededores, succionando así el mercurio hacia arriba, Boyle y Hooke llevaron a cabo largas series experimentales, no siempre exitosas (Harré 1986, pp. 73-81), en las que estudiaron diferentes gases en diferentes volúmenes y a diferentes presiones, hallando que, manteniendo la temperatura constante, toda disminución de volumen llevaba consigo un aumento de presión, y viceversa.

En una línea similar, Jacques Charles, en su intento de comprender cómo funcionaban los globos aéreos, que gozaban de una enorme popularidad en la época, sugirió que en una muestra de gas, si se mantiene la presión constante, su volumen crecerá proporcionalmente al incremento de temperatura. Esta nueva regularidad fue establecida por las series experimentales de Gay-Lussac, y confirmada y replicada por Dalton. Así, todos los gases mantenían esta regularidad, independientemente de su composición química, a pesar de que este hecho no se mantuviese si los mismos compuestos se presentaban en formas sólida o líquida.

Dentro del ámbito de los gases, los diseños sucesivos de la máquina de vapor, y las mejoras introducidas por investigadores como Newcomen o Watts (este último con la introducción del condensador en la máquina), entre otras cosas, para maximizar su rendimiento,

fueron cruciales para el desarrollo teórico de la máquina de Carnot, y sus reflexiones en el ámbito de una máquina de máximo rendimiento. A su vez, estas reflexiones serían la base de la construcción del concepto de entropía por parte de Clausius. Finalmente, la distinción entre calor y temperatura, así como entre calor latente y calor específico, desarrollada por Black, no fue el producto de ninguna hipótesis teórica elaborada 'a priori', sino que fueron el resultado de largas series experimentales. Estas series experimentales constituirían la carga experimental de las sucesivas teorías del calor, y de la matematización de las mismas.

La exploración sistemática y el uso de artefactos técnicos en la actividad experimental también es un elemento esencial de otras ciencias como la química, por ejemplo a la hora de descubrir y hallar nuevos elementos. Por ejemplo, la introducción del soplete por parte de Cronstedt en el estudio de los minerales, le permitía obtener información acerca de la naturaleza y composición del mineral a partir del color de la llama, de la naturaleza de los vapores formados de los óxidos de sustancias metálicas, etc. El soplete consistía en un tubo largo que se estrechaba hacia uno de los extremos y que, cuando se soplaba por el extremo ancho, producía un chorro de aire en el extremo apuntado. El chorro aumentaba el calor de la llama cuando se dirigía hacia ella.

Por otro lado, en relación a los estados de la materia, hallamos en Faraday una de las primeras explicaciones racionales y coherentes en el ámbito científico. Esta teoría tenía una sólida base en la actividad experimental desempeñada por él. Trabajando con el gas cloro a diferentes temperatura, Faraday halló que en el extremo más frío del recipiente se hallaba un fluido. De este modo, Faraday consideró que había obtenido cloro líquido. Tras este afortunado incidente, Faraday trabajó durante largas series experimentales con todos los gases conocidos en la época, variando de un modo sistemático las condiciones de presión, volumen y temperatura, hasta dar con las condiciones que permitían licuar cada uno de los gases conocidos en la época.

Finalmente, en el ámbito de la electricidad, encontramos casos como los de Galvani y Dufay, quienes realizaron actividades experimentales fundamentales para el desarrollo de experimentos más sofisticados y modelos teóricos posteriores. El primero de ellos puso de manifiesto que al aplicar conductividad eléctrica en la médula espinal de una rana, ésta sufría notables contracciones musculares. Muchos investigadores comenzaron a intentar replicar los experimentos de Galvani, partiendo de sus protocolos, que a su vez se basaban en la transmisión oral de los mismos. Al no tener una información precisa y exhaustiva, cada científico se sirvió de dichos protocolos y de su propio nivel de pericia para replicar dichos experimentos (Trumpler 1997, p. 76). El resultado de esto es que las replicaciones incluyeron un enorme grado de variación de las condiciones experimentales de Galvani, que incluían aspectos relacionados con el estado del animal, el tipo de material para desarrollar la disección, la zona de aplicación de la conducción eléctrica, etc.

El hecho de que estas variaciones no alteraran la producción del fenómeno permitió a los investigadores continuar con una variación sistemática de las condiciones experimentales, que permitió simplificar el protocolo experimental, así como optimizar la ocurrencia del

fenómeno. Esto condujo a una cada vez más profunda comprensión del fenómeno de la conducción eléctrica en animales, y de los factores implicados en la ocurrencia e intensidad de la misma. Paradójicamente, esta mayor comprensión no fue asociada a una teorización al respecto, sino más bien al contrario, ya que muchas de las especulaciones teóricas de Galvani iban asociadas a condiciones experimentales que luego resultaron no ser esenciales para la ocurrencia del fenómeno.

Por otro lado, tenemos las investigaciones de Dufay en el ámbito de la electricidad. En el momento en que realizó sus investigaciones, en la década de 1730, el campo de la electricidad era poco conocido, y los resultados experimentales eran inestables e incoherentes. Entre los múltiples fenómenos y efectos que se habían podido hallar hasta la fecha, se tenía constancia de que algunos materiales podían ser electrificados por fricción. Algunas veces, los cuerpos podían electrificarse mediante el contacto con otros cuerpos, mientras que en otras ocasiones esto no sucedía. Por otro lado, la electricidad actuaba algunas veces atrayendo a los cuerpos, mientras que en otras ocasiones se manifestaba como repulsión del otro objeto.

Este tipo de efectos se habían estabilizado hasta un cierto punto gracias a la sistematicidad de la actividad experimental y la variación de los factores implicados, y de la estructuración de esas experiencias mediante el lenguaje. Sin embargo, las condiciones experimentales eran delicadas y de difícil replicabilidad, y los efectos poco significativos.

Dufay llevó a cabo una larga serie de experimentos, variando el procedimiento de modos diversos, guiado por su experiencia a lo largo de su interacción con el entorno, o sentido común, y las distinciones conceptuales resultantes, y la productividad del lenguaje en cuanto a la expansión de nuevos horizontes de experimentación. Dufay introdujo una gran variedad de materiales, aislados o combinados, así como diferentes formas, temperaturas, colores, humedad, presión del aire, etc. También llevó a cabo estos experimentos en diferentes escenarios, que incluían dos cuerpos en contacto, dos cuerpos cercanos, o a larga distancia, dos cuerpos conectados por un tercero, etc. Gracias a esta variación sistemática de factores, Dufay halló ciertas regularidades, como el hecho de que todos los cuerpos excepto los metales podían electrificarse mediante rozamiento, o que todos los cuerpos excepto una llama recibían electricidad por comunicación con otro cuerpo.

En relación con la atracción y repulsión generadas por la electricidad, Dufay llevó a cabo muchos experimentos, con cuerpos electrificados y no electrificados atrayéndose y repeliéndose entre ellos, antes y después de tocarse. A partir de estos experimentos, él extrajo una regularidad que se mantenía para todos los cuerpos, a saber, que cuando un cuerpo no electrificado fue atraído por uno electrificado, y tocado por él, se repelería repentinamente después del contacto. Sin embargo, esta regularidad no se cumplía cuando intervenía un tercer cuerpo. Después de otras series de experimentos, Dufay llegó a la conclusión de que sus resultados experimentales sólo adquirían pleno sentido si se abandonaba la noción común de electricidad para hablar de dos tipo de electricidad, una atractiva y otra repulsiva.

Las dos electricidades se producían por frotamiento, pero cada una de ellas quedaba asociada a un tipo distinto de material. Ya que la cera y el vidrio fueron los más representativos

de estas clases de electricidad, Dufay las denominó “electricidad vitriosa” (a la atractiva), y “electricidad resinosa” (a la repulsiva). Con esta nueva distinción conceptual, Dufay era capaz de dar sentido a una gran cantidad de experimentos mediante una misma regularidad (Steinle 1997).

La metodología de investigación planteada por Bacon, que desemboca en la experimentación científica, sentando sus bases y propiedades fundamentales, permite, a la luz de los ejemplos, generar prácticas comunes, usos compartidos de artefactos que permiten explorar nuevos fenómenos o efectos por parte de la comunidad científica con un horizonte común de la experiencia, y el establecimiento de invariancias o leyes empíricas y un nuevo léxico, que se convierten en guías de los esquemas exploratorios de científicos de las generaciones siguientes. Esto garantizaba una sólida base común de la experiencia de la comunidad científica en relación a los fenómenos investigados, que permitía el desarrollo posterior de reflexiones teóricas con una base experiencial que garantizara la plausibilidad de las mismas.

La presentación de estos ejemplos, provenientes de la investigación de diferentes fenómenos, pone de manifiesto la importancia de la actividad experimental en la práctica científica, y su relativa autonomía con respecto a la teoría. También hemos podido comprobar que en muchos casos la experimentación sostenida en torno a un fenómeno ha permitido el desarrollo posterior de modelos teóricos sobre la base sólida de un conjunto de interacciones y prácticas experimentales compartidas por la comunidad científica.

La importancia de la experimentación es tal que en muchas ocasiones ha permitido discriminar la validez de algunas hipótesis teóricas mediante criterios y recursos puramente experimentales (Ferreirós y Ordóñez 2002). Por ejemplo, en el caso de la química, se halló experimentalmente, independientemente de cuáles fueran los compuestos anteriores y posteriores a una reacción química de neutralización de ácido y base, que las cantidades que se mezclaban eran siempre fijas y definidas.

A la hora de explorar si esta exactitud podía generalizarse más allá de este tipo de reacciones químicas, Berthollet sostenía que un compuesto formado por los elementos x e y podía contener una cantidad de x si se preparaba utilizando un gran exceso de x. Frente a esto, Proust demostró que el carbonato de cobre, por ejemplo, contenía cobre, carbono y oxígeno en proporciones definidas en peso, no importando cómo se hubiera preparado en el laboratorio ni cómo se hubiera aislado de las fuentes naturales.

Tras llevar a cabo una serie de experimentos, Proust halló que existía una situación similar también para otros compuestos, y formuló la generalización de que todos los compuestos contenían elementos en ciertas proporciones definidas y no en otras combinaciones, independientemente de las condiciones bajo las que se hubiesen formado. Proust también mostró que Berthollet, al presentar la evidencia de que ciertos compuestos variaban en su composición de acuerdo con el método de preparación, se equivocó por culpa de los análisis poco precisos y por el uso de productos que habían sido purificados insuficientemente. A lo largo de los años siguientes, otros químicos verificaron la ley

generalizada de las proporciones fijas de Proust, convirtiéndose ésta en una de las bases de la química.

En otro ejemplo, correspondiente al surgimiento de la medicina científica, Laennec, al no tener la posibilidad de auscultar a una paciente, ni aplicar otras técnicas directas de investigación, debido a su peso y sexo (su elevado peso hacía difícil el acceso a la información obtenida por este tipo de técnicas; por otro lado, estaba mal visto en la época que un médico varón realizara ciertas prácticas exploratorias con pacientes de sexo femenino), utilizó un fenómeno acústico conocido para construir un pequeño artefacto que no sólo le permitiría proceder a auscultar a su paciente, sino también amplificar los sonidos obtenidos provenientes del pecho de la paciente. Laennec accedió de este modo a una nueva gama de sonidos más claros y distintos que los que conseguía mediante la auscultación directa. A continuación, Laennec tuvo la idea de generalizar esta experiencia a toda exploración que tuviera la relación con el sonido del interior de los pacientes, más allá del sonido particular del corazón.

Para ello, Laennec comenzó a calibrar el instrumento, mejorando inicialmente el invento, denominado por él 'estetoscopio' (del griego 'pecho' y 'examinar'), ensayando artilugios de diversos tipos, con diversas longitudes, anchuras y grosores. Finalmente, Laennec se decidió por un cilindro hueco de madera de 30 cm de largo aproximadamente, con dos partes ajustables en sus extremos.

Partiendo de su habilidad en el método de la auscultación activa, y con ayuda de su nuevo instrumento, Laennec consiguió discriminar conceptualmente entre diversos tipos de enfermedades y subcategorías de las mismas, desarrollando así un nuevo léxico amparado en criterios diagnósticos que atendían a las causas anatómicas internas de las mismas, más que a una recopilación y enumeración de síntomas externos. La correlación entre lesiones anatómicas y signos auscultatorios con el uso del estetoscopio dio lugar a categorías más fiables que las anteriores, hasta el punto de que muchas de ellas forman parte de la semiología actual. También unificó la tuberculosis de forma que la tisis o consunción febril, por un lado, y la presencia anatómica de tubérculos, por otro, se asociaron como dos aspectos de una misma enfermedad.

El estetoscopio tardó cerca de veinte años en convertirse en un instrumento realmente consolidado en la práctica médica. Este proceso no se basó en argumentos racionales o teóricos, sino fundamentalmente en series experimentales y en el uso sostenido de este instrumento con diferentes pacientes en el análisis de diferentes enfermedades. Laennec varió muchas propiedades de su instrumento, comparando los sonidos obtenidos en todos los ensayos, hasta dar con el diseño que más fiabilidad ofrecía, utilizando como criterios exploratorios la especificidad (un signo es específico cuando está asociado invariablemente a un tipo de lesión y sólo a un tipo, de modo que no puede estar presente el uno sin el otro) y la sensitividad (un signo es sensitivo si está siempre presente y es detectable cuando se produce una lesión, por débil que ésta sea). Laennec enfatizó asimismo la importancia de comparar los datos de la exploración estetoscópica con los obtenidos en otras técnicas exploratorias como la auscultación inmediata o la percusión, a fin de conferir robustez a los resultados (Cerezo 2007).

En definitiva, la experimentación científica era un modo de adquirir una experiencia más rigurosa, sistemática y consensuada en torno a determinados fenómenos, sus propiedades y sus condiciones de aparición. Con la experimentación científica, el polo subjetivo de la experiencia quedaba reducida a su mínima expresión. Los experimentos se anclaban de una forma sólida en las bases corporales e interactivas de la cognición, y en técnicas y en artefactos e instrumentos de uso común en la práctica de la vida cotidiana. Por otro lado, los aspectos más comunes del lenguaje, a saber la sintaxis y la semántica, eran las bases exploratorias de la actividad experimental, que permitían variar de un modo sistemático las condiciones y los factores de la investigación en el diseño experimental, dando lugar a invariancias de gran robustez y replicabilidad. La actividad experimental es en sí misma una fuente de descubrimiento (como se ha puesto de manifiesto con el ejemplo del estudio de la electricidad) o de justificación (como en el caso de la disputa entre Proust y Berthollet, o los análisis de Laennec).

Sin embargo, la actividad experimental, a pesar de ser un pilar fundamental de la ciencia, no agota todo el conjunto de prácticas científicas, ni siempre se halla aislada. En muchas ocasiones, los diseños experimentales, así como la interpretación de los resultados, no se encuentran completamente al margen, o incluso están guiados, por modelos teóricos que dependen de fusiones conceptuales y proyecciones metafóricas elaboradas por el científico, que tienen un mayor componente subjetivo, pero que a su vez conceden a la actividad científica una mayor creatividad y expansión hacia nuevos horizontes de experimentación.

Por ejemplo, retomemos el caso de las investigaciones de Newton en el campo de la óptica. La replicación de sus experimentos dieron lugar a problemas considerables, y a divergencias notables en los resultados. Para solventar este problema, Newton realizó la publicación de su serie de diez experimentos que hemos mencionado anteriormente. En gran parte, las divergencias se vieron superadas, al tomar conciencia de que la divergencia de los prismas utilizados por diferentes científicos podían estar ocasionando los problemas mencionados. Sin embargo, algunos científicos que participaron en la replicación de los experimentos de Newton, seguían sin estar convencidos de los resultados experimentales y de la interpretación oficial. Estas discrepancias no estaban tanto en un nivel de análisis basado propiamente en criterios experimentales, relativos a la habilidad del científico o los aparatos utilizados, sino a la visualización de los rayos. Newton repitió sin descanso que había que tener cuidado con la idea de rayo simple. Estos rayos no eran producidos por ningún prisma, tal y como Newton los concebía.

La diferencia entre el rayo simple de la teoría, una línea geométrica, y el haz del experimento, más o menos grosero, era una diferencia que el científico debía saber tratar en su imaginación. Mariotte no entendió este punto como Newton, debido a la ausencia de compromiso con la fusión conceptual entre la interpretación del modelo geométrico de la luz, y el fenómeno del rayo de luz tal y como aparecía en el espacio experimental. Este compromiso dependía más de la imaginación y los criterios de cada científico, y en aquel momento era una cuestión controvertida.

Hallamos un problema similar en los experimentos con la bomba de vacío. A pesar de que las series experimentales realizadas por Boyle parecían dejar claro que la presión atmosférica, y no el aborrecimiento del vacío, era lo que hacía que los líquidos se elevasen a una determinada altura, fija para cada tipo de sustancia, Hobbes fue uno de los autores más críticos con la actividad experimental de Boyle, al negar que sus resultados experimentales llevasen a la producción efectiva del vacío, y que algunos efectos producidos en los experimentos fueran reales, y no meros artefactos del aparato utilizado. Para Hobbes, la bomba de vacío podía rarificar algunas sustancias, pero asumir que eso equivalía a producir el vacío, y a comprometerse con la existencia del mismo, implicaba un compromiso teórico con un mundo compuesto de partículas elementales que se moverían en un espacio vacío, tal y como sostenía la teoría corpuscular defendida por Boyle.

Finalmente, encontramos el caso de Galileo y su telescopio. Galileo construyó su telescopio basándose en algunos hallazgos realizados en Holanda, según los cuales la colocación estratégica de dos lentes podía aumentar considerablemente el alcance de la vista humana. Galileo incluso predijo la llegada de barcos a tierra con el uso de su telescopio, lo que le valió para obtener un buen contrato en la universidad. Sin embargo, a la hora de mirar los cielos con su telescopio, pocos fueron los que estuvieron de acuerdo con sus interpretaciones de las observaciones realizadas. La mayoría de intelectuales, amparados en un sistema aristotélico, sostenían que las manchas observadas no eran cráteres de la Luna, ni satélites de Júpiter, sino puntos engañosos producidos por las propias lentes del telescopio. Solamente con una buena instrucción en perspectiva geométrica, desarrollada en el arte de la pintura, y una creencia en la verdad del sistema copernicano, podían los observadores convencerse plenamente de la validez de las observaciones. El mismo Galileo confesaba a Kepler que era el único que había confiado en su aparato y sus dibujos.

En síntesis, la actividad experimental funciona de un modo relativamente independiente para algunos dominios de la experiencia, dando lugar a una sistematicidad y estructuración de la misma, lo cual tiene ventajas cruciales tanto en el contexto de descubrimiento como en el de justificación. Pero para generar esa replicabilidad en otros dominios de menor accesibilidad con la precisión suficiente es necesario el papel de los modelos teóricos. En los siguientes apartados veremos el por qué.

En definitiva, los modelos teóricos son una parte indispensable de la ciencia, y forman, junto con la actividad experimental, una dinámica de prácticas interdependientes que alcanzan su máxima expresión y su máximo alcance en esta relación mutua. Por tanto, debemos considerar esta dinámica bidireccional entre prácticas teóricas y experimentales como la unidad de análisis que nos permitirá obtener un modelo de la actividad científica con el que apresar su inherente complejidad. Para ello, veremos esta dinámica entre teoría y experimentación, pero no de un modo aislado, sino dentro de un marco cognitivo más amplio, partiendo del modelo desarrollado en el capítulo anterior, que nos permita comprender la práctica científica desde el seno de la experiencia y la cognición humanas, para ver cómo la dinámica de las prácticas científicas nace a partir de esta base experiencial, y vuelve a ella, transformándola y

modificando así la experiencia de las generaciones siguientes, lo que a su vez modificará también sus procesos cognitivos, así como la propia actividad experimental y teórica dentro de la ciencia.

Antes de abordar la interacción dinámica de las prácticas científicas dentro de un fondo experiencial, analizaremos de un modo aislado los modelos teóricos, para mostrar sus características principales, según el punto de vista desde el que se abordarán en este trabajo.

2.2. MODELOS TEÓRICOS: PROYECCIONES METAFÓRICAS Y FUSIONES CONCEPTUALES

Hasta ahora hemos presentado la actividad experimental como una estrategia eficaz utilizada en la ciencia para minimizar las diferencias subjetivas entre diferentes agentes, y la divergencia de resultados obtenidos por uno o diferentes agentes en momentos y lugares distintos, en torno a un mismo fenómeno o problema. La experimentación hace uso de los recursos y aspectos de la experiencia cotidiana, corporal, cultural y lingüística, ya que se compone de la interacción sensorimotora con diferentes elementos del entorno, el uso de instrumentos y artefactos compartidos, y la variabilidad sistemática de las condiciones experimentales.

Sin embargo, tal y como se ha puesto de manifiesto al final del apartado anterior, la actividad experimental no es totalmente independiente de la imaginación y los modelos mentales del científico. Estos modelos no sólo son en ocasiones imprescindibles para la interpretación de los resultados obtenidos en la actividad experimental, sino que guían en muchos casos el diseño de experimentos más sofisticados, destinados a precisar más el conocimiento sobre un fenómeno determinado.

El problema con los modelos teóricos es que, a diferencia de la actividad experimental, que nace y se basa en aspectos comunes de la experiencia de los agentes, tienen un mayor componente subjetivo. Podemos relacionar los modelos teóricos de la ciencia con determinadas propiedades de la cognición y sus bases experienciales, tal y como se han presentado en el capítulo anterior. La idea principal es que la experimentación, tal y como fue presentada por Bacon, y como se ha practicado en ciencia, tiene como objetivo el ser una exploración sistemática del fenómeno, sin postular modelos teóricos elaborados subyacentes al mismo. De hecho, la obligatoriedad de ajustarse a estos criterios de rigor y sistematicidad persiguen precisamente que el científico vaya más allá de sus propias preconcepciones y prejuicios, intentando mirar un mismo fenómeno desde una multiplicidad de perspectivas, desafiando así sus esquemas exploratorios basados en la propia experiencia y las propias elaboraciones de la imaginación.

Por el contrario, la generación de modelos teóricos son un resultado de los procesos cognitivos que surgen de los aspectos más subjetivos de la experiencia. En muchas ocasiones requieren seleccionar determinados aspectos del fenómeno como relevantes o irrelevantes, y centrarse sólo en los que se ajusten al modelo en cuestión. Además, los modelos teóricos suelen partir de proyecciones metafóricas o fusiones conceptuales que establecen relaciones

de semejanza entre el fenómeno investigado y otros dominios de la experiencia. Por tanto, a pesar de que los modelos teóricos, como la actividad experimental, emergen de la experiencia corporal, cultural y lingüística, parten de conexiones y relaciones de semejanza que enfatizan algunos aspectos determinados del fenómeno, que se ajustan a la proyección metafórica y la fusión conceptual subyacentes al modelo, y dejan de lado otros aspectos que pueden considerarse menos relevantes. Las inferencias generadas a partir de estos modelos son una fuente de inspiración indispensable para la ciencia y su desarrollo, pero en ocasiones pueden enfocar la investigación científica hacia una dirección determinada con tanta fuerza que se haga difícil explorar los fenómenos que se explican con estos modelos desde perspectivas o ángulos distintos.

Por ejemplo, el desarrollo de la astronomía antes de la obra de Newton tuvo como uno de sus principales promotores a Kepler. Las tres leyes de Kepler, de las que hablaremos a continuación, fueron fundamentales para la deducción de la ley de la Gravitación Universal por parte de Newton. Pues bien, gran parte de la investigación de Kepler estuvo motivada por su voluntad de confirmar un modelo del cosmos que había diseñado en su imaginación. Kepler elaboró una fusión conceptual entre algunas propiedades del cosmos, a partir de la experiencia que se tenía del mismo en la época, y la relación entre determinadas figuras geométricas.

Desde la Antigüedad, conocemos cinco sólidos perfectos, esto es, poliedros cuyas caras son iguales, a saber, cubo, tetraedro, dodecaedro, icosaedro y octaedro. Jugando con este tipo de formas geométricas, Kepler trazó un plano en el que introducía un cubo en una esfera. A su vez, introducía esta esfera dentro de un tetraedro, introduciendo este tetraedro en otra esfera, y esta nueva esfera en un dodecaedro, y así sucesivamente, hasta tener los cinco poliedros y las esferas intermedias dentro de una esfera mayor que las incluyese a todas. Las relaciones entre los radios de estas esferas era proporcional a las relaciones entre las órbitas planetarias, concebidas como esferas circulares de cristal sutil, o éter. Este modelo sólo tenía sentido si se concebía un universo heliocéntrico. Kepler creyó haber descifrado el secreto último del universo, de modo que su modelo geométrico guió su investigación astronómica a lo largo de su vida. Gracias a ello, Kepler obtuvo algunos de los resultados más importantes de la historia de la astronomía, y de la ciencia.

El modelo de Kepler se basa en una fusión conceptual entre una composición de figuras geométricas y el modelo copernicano, que guiaba sus observaciones astronómicas. Las proporciones entre radios y órbitas, y el igual número de esferas en la construcción con las figuras geométricas y de planetas conocidos, le parecieron suficientemente significativas como para utilizar su modelo geométrico como esquema mental con el que explorar los cielos, a pesar de que nadie había visto ninguna pista en los cielos para pensar que los movimientos de los planetas se rigeran por esferas cristalinas, y mucho menos que entre dichas esferas se encontrasen figuras poliédricas que llenasen el espacio interestelar. Haría falta ir más allá de este modelo de cristales geométricos etéreos para pensar en el cosmos como un conjunto de cuerpos atraídos entre sí por fuerzas gravitatorias que se transmitían a distancia, desde los centros de masas de unos cuerpos a otros, y con un conjunto de planetas y satélites mucho

mayor que seis, pero eso no impide afirmar que el modelo teórico de Kepler fue una guía indispensable para dar sentido a su investigación, y para hallar regularidades e invariancias en los datos astronómicos que darían lugar a la enunciación de sus tres leyes.

Otro ejemplo parecido lo tenemos en los estudios de electroquímica llevados a cabo por Faraday. El científico inglés utilizó su modelo teórico de las líneas de fuerza para interpretar sus resultados empíricos. El modelo de las líneas de fuerza de Faraday tuvo una enorme influencia en el estudio del electromagnetismo, y estuvo en la base de la formulación de las leyes de Gauss para la electricidad y el magnetismo, y de las ecuaciones del campo electromagnético de Maxwell.

Sin embargo, la fusión conceptual entre la distribución de las fuerzas eléctricas y magnéticas y un espacio compuesto por líneas de fuerza con diferentes niveles de densidad y trayectorias, direcciones y sentidos, también impidió a Faraday interpretar que debajo de sus hallazgos en electroquímica, y de las leyes empíricas halladas por él mismo, podía haber una atomicidad de la carga eléctrica, que se confirmaría posteriormente con los estudios de J. J. Thompson y el descubrimiento del electrón. Faraday estableció, mediante el estudio de la materia con procesos electrolíticos, que la misma cantidad de electricidad producía la descomposición del mismo número de equivalentes de diversas sustancias químicas. Esto podía ser un indicio de que la electricidad podía presentar un carácter corpuscular, si la materia se consideraba atómica. Faraday, confiado en su modelo de líneas de fuerza, negó ambas cosas, al afirmar que “la materia se halla presente en todas partes, sin que exista un espacio intermedio que no esté ocupado por ella” (Faraday, citado en Mason, vol. 4, pp. 119-120).

Como en el caso de Kepler, la fusión conceptual entre los fenómenos electromagnéticos estabilizados en la época y las líneas de fuerza que ocupaban el espacio y se movían por él fue de vital importancia para el desarrollo de su actividad experimental y de la física del electromagnetismo posterior. No obstante, esto no quiere decir que, en tanto que modelo teórico, no estuviera dejando aspectos del fenómeno de la electricidad fuera de su alcance, ya que no encajaban con las relaciones de semejanza implicadas en la fusión conceptual, y por tanto no tenían cabida entre las inferencias resultantes de la misma.

La investigación científica relativa a la naturaleza de la luz también ha tenido como una parte esencial de su desarrollo la inspiración de diferentes modelos teóricos. La luz ha sido un fenómeno que ha intrigado a filósofos y científicos desde la Antigüedad. Gracias a la exploración de este fenómeno, se pueden conocer sus efectos con detalle. Sin embargo, no es posible acceder directamente a la estructura interna de la luz. Por tanto, la generación de proyecciones metafóricas era un elemento indispensable para interpretar los efectos conocidos y para diseñar experimentos que permitieran seguir profundizando en la naturaleza de la luz. Han existido en la investigación de la luz dos proyecciones metafóricas principales. La primera se conoce como teoría corpuscular, y concibe que los rayos de luz se componen de pequeñas partículas que se desplazan en el vacío. Este modelo halló en Newton su principal defensor. Por otro lado, la teoría ondulatoria interpretaba que la luz se desplazaba en movimientos ondulatorios, como si se tratase del movimiento que podemos observar al mover una cuerda

arriba y abajo, de forma que esta agitación se transmita a lo largo de la misma, o el movimiento que experimenta la superficie del agua cuando chapoteamos en ella o dejamos caer algún objeto.

Cada uno de estos modelos permitía explicar algunos efectos conocidos de la luz, pero no otros. Por ejemplo, el modelo corpuscular permitía explicar las sombras que se generaban en una pared, al interpretar que los corpúsculos que iban en la dirección del objeto chocaban contra él y rebotaban, y no alcanzaban la pared. Otro efecto conocido era que la propagación rectilínea de la luz no parece verse afectada por la gravedad. Esto implicaría que los corpúsculos que la componían debían moverse a una velocidad muy grande, de modo que su inercia horizontal sería mucho mayor que la fuerza gravitatoria. Finalmente, la ley de la reflexión de la luz podía interpretarse como un choque elástico de los corpúsculos, que rebotaban, impulsándose hacia arriba con un ángulo igual al de la caída, pero en sentido contrario.

Por otro lado, el modelo corpuscular también implicaba otras inferencias que parecían contradecir los efectos de la luz hallados experimentalmente. Si la luz estaba compuesta de un haz partículas en movimiento emitidas desde una fuente, debería perder masa en su propagación. Sin embargo, esto no se apreciaba experimentalmente. Asimismo, si la luz se componía de corpúsculos, cuando dos rayos se cruzaran deberían cambiar sus trayectorias al chocar sus partículas entre sí, pero este efecto tampoco tenía lugar. Finalmente, el modelo corpuscular contradecía la ley de refracción de Snell, ya que predice que el rayo refractado se aleja de la normal (línea imaginaria perpendicular a la superficie) cuando pasamos de un medio menos denso a uno más denso, en contra de lo que se hallaba experimentalmente. Newton argumentaba que esto era debido a que el medio más denso presentaba un mayor rozamiento con los corpúsculos del rayo de luz. Harían falta experimentos y cálculos más precisos para refutar este tipo de argumentos de reajuste entre experimentación y el modelo corpuscular.

La teoría ondulatoria, por el contrario, fue desarrollada por Hooke y Hyugens, principalmente. La experimentación sostenida con la luz y la variación sistemática de las condiciones experimentales permitieron mostrar, entre otros efectos, que la luz penetraba en zonas de sombras en determinadas condiciones. Además, la representación geométrica de la propagación de las ondas luminosas de Hyugens ofrecía una explicación cualitativa muy simple de las leyes de reflexión y refracción de la luz. También explicaba por qué dos rayos luminosos pueden cruzarse sin perturbarse, efecto que no hallaba explicación en la teoría corpuscular. Finalmente, la teoría ondulatoria podía explicar los hallazgos experimentales de Newton en relación a la descomposición de la luz blanca mejor que el propio modelo corpuscular (como el mismo Newton llegaría a admitir). Los diferentes colores que forman la luz blanca corresponderían, según las inferencias generadas con el modelo ondulatorio, a longitudes de onda distintas, y la luz blanca se separaría en estos colores debido a fenómenos de difracción y refracción al entrar en contacto con el prisma.

La teoría ondulatoria de la luz no estaba exenta de problemas, tal y como sucedía con la teoría corpuscular, ya que algunas de sus inferencias no se ajustaban a los efectos hallados

experimentalmente. En primer lugar, el sonido, cuya transmisión se interpretaba también como la propagación de un movimiento de carácter ondulatorio, podía llegar a cruzar obstáculos. Contrariamente, no se observaba este fenómeno en el caso de la luz, sino que ésta dibujaba sombras perfectamente nítidas. Por otro lado, la propagación de la luz en forma de onda a través de medios materiales se explica fácilmente si se admite que las partículas del medio vibran con el paso de los rayos de luz. Siguiendo con la inferencia del modelo, los científicos que defendían la teoría ondulatoria se veían obligados a explicar a través de qué medio material se propagaba la luz que provenía del Sol y de las estrellas.

La solución se hallaba en la postulación de un medio denominado éter que llenaba todo el espacio. Este éter debía ser un medio muy denso, para permitir que las partículas que lo constituían, al ser desplazadas de su equilibrio al paso de una onda, tenían que desarrollar fuerzas perfectamente elásticas muy grandes para favorecer una transmisión de la luz que, tal y como se conocía, se propagaba a una gran velocidad. Por otro lado, el éter también debía ser un medio muy tenue, para no dificultar el movimiento de los planetas y los astros del sistema solar.

En definitiva, tanto la teoría corpuscular como la ondulatoria partían de fusiones conceptuales que destacaban las propiedades y los efectos de la luz que mejor se ajustaban a las relaciones de semejanza seleccionadas por cada modelo entre el fenómeno de la luz y el movimiento de partículas o de ondas. Ambos podían explicar algunos fenómenos de un modo satisfactorio, pero a su vez también dejaban sin explicar otros, o llevaban a unas inferencias que eran problemáticas o inconsistentes. No obstante, la dialéctica entre ambas teorías fue un factor esencial en el desarrollo de la óptica, ya que gracias a las inferencias generadas por ambos modelos se idearon diseños experimentales que permitieron producir nuevos efectos y controlarlos con mayor precisión, para hallar más argumentos a favor o en contra de estos modelos. Los experimentos de Young o los de Poisson son ejemplos de este tipo.

Especialmente curioso resulta el caso de los experimentos de Poisson. Poisson era un defensor de la teoría corpuscular, y planteó un diseño experimental utilizando las ecuaciones matemáticas elaboradas por Fresnel para la difracción de las ondas de la luz alrededor de obstáculos. Poisson halló que, de ser ciertas las ecuaciones de Fresnel, algo muy peculiar debía ocurrir cuando un pequeño disco se sitúa al paso de un haz luminoso. Una pantalla colocada detrás del disco debería exhibir un punto brillante en el centro de la sombra, ya que la difracción de las ondas luminosas alrededor del borde del disco daría lugar a una interferencia destructiva en el borde de la sombra. Las inferencias realizadas a partir de la teoría corpuscular anulaban la posibilidad de la existencia de este punto brillante. Poisson pensaba que este experimento serviría para refutar la teoría ondulatoria, por lo absurdo de su predicción, y desafió a Fresnel a realizar el experimento. El resultado del experimento permitió apreciar un punto brillante en el punto centro de la sombra, convirtiéndose así en un argumento en contra de la teoría corpuscular, desafiando así la voluntad y las expectativas del propio Poisson.

Como último ejemplo, hablaremos del caso de Sadi Carnot. Este ingeniero francés se dedicó al análisis de los factores determinantes en la producción de energía mecánica a partir

del calor producido en la máquina de vapor y en otras máquinas de calor. Carnot destacó el hecho de que en la máquina de vapor el calor fluía de una región de alta temperatura, la caldera, a una región de más baja temperatura, el condensador, generándose trabajo mecánico mediante el cilindro y el pistón durante el proceso. A partir de este hecho, Carnot estableció una proyección metafórica entre la energía generada por el calor y otro motor conocido, como era el caso de la rueda hidráulica. Carnot afirma que "podemos comparar exactamente la potencia motriz del calor con la de una caída de agua –escribió Carnot-. La fuerza motriz de una caída de agua depende de la altura y de la cantidad de fluido; la fuerza motriz del calor depende de la cantidad de calórico empleado y de lo que podemos denominar su altura de caída, es decir, la diferencia de temperatura de los cuerpos entre los que se intercambia el calórico" (Carnot, citado en Mason, vol. 4, p. 133).

Carnot selecciona de este modo dos relaciones de semejanza fundamentales entre la energía hidráulica y su concepción del fluido calórico para el desarrollo de sus inferencias teóricas, a saber, la altura de caída y la cantidad de fluido, dejando de lado muchos otros aspectos que no eran pertinentes dentro de su esquema mental exploratorio formado por la proyección metafórica mencionada. Esta metáfora llevó a Carnot a la idea de que la cantidad de energía producida por una máquina de vapor dependía únicamente, en principio, de la diferencia de temperatura entre la caldera y el condensador y de la cantidad de calor que pasaba de la una al otro. La conclusión era que todas las máquinas de calor habrían de tener la misma eficiencia cuando operaban entre los mismos niveles de temperatura.

Si esto no fuese cierto, argumentaba Carnot, sería posible el movimiento perpetuo, ya que si dos máquinas de calor perfectas que operasen entre los mismos niveles de temperatura no poseyesen la misma eficiencia, podría ser que la más eficiente hiciese trabajar a la menos eficiente de un modo invertido, transportando calor de la temperatura inferior a la superior, generando un exceso neto continuo de energía mecánica sin variar las condiciones de temperatura de la máquina. Carnot veía imposible la posibilidad del movimiento perpetuo, de modo que postulaba que todas las máquinas que trabajasen entre los mismos niveles de temperatura serían igual de eficientes, independientemente del modo de operar de la misma o del material utilizado para transportar el calor y realizar trabajo.

Esta conclusión, conocida como principio de Carnot, se considera todavía un hallazgo válido para la ciencia, en la medida en que fue fundamental para el posterior desarrollo del concepto de entropía y de la postulación de la segunda ley de la termodinámica. No obstante, como en los casos anteriores, el modelo teórico de Carnot también llevaba consigo inferencias que resultarían estar alejadas de los fenómenos y efectos hallados experimentalmente en el ámbito de la termodinámica. Por ejemplo, llevó a Carnot a la conclusión de que nada de calor se perdía o se convertía en energía mecánica durante la operación de la máquina de vapor. Carnot pensaba que era la misma cantidad de calor que cedía la caldera a la temperatura superior y la que recibía el condensador a temperatura inferior.

Más tarde, Joule demostraría, tras una larga serie de experimentos, que una parte de calor sí se perdía en forma de energía mecánica, y que existía una proporción determinada entre la energía calorífica y el trabajo mecánico.

En síntesis, si la actividad experimental utiliza estrategias para llevar a los miembros de la comunidad científica a un marco experiencial común, minimizando la diferencias subjetivas entre ellos, los modelos teóricos utilizan precisamente los aspectos subjetivos de la experiencia y los recursos cognitivos y lingüísticos asociados (relaciones de semejanza entre diferentes dominios, proyecciones metafóricas, fusiones conceptuales, etc.).

Aunque esta dimensión subjetiva de la experiencia ocasiona problemas, ya que lleva a interpretaciones distintas de la experiencia y los resultados experimentales, también es un elemento crucial para el desarrollo de la ciencia, porque es precisamente desde ahí desde donde surgen los procesos cognitivos más creativos, que llevan posteriormente al diseño de experimentos más sofisticados, y con una mayor capacidad de discriminar entre hipótesis rivales, o de acceder a nueva información de un mismo fenómeno. Por ejemplo, los modelos teóricos son de vital importancia para guiar la investigación del mundo microscópico, que escapa a los recursos de la experiencia ordinaria, o para hallar esquemas mentales generalizados que permitan unificar con una misma teoría un conjunto muy diverso de fenómenos.

Los aspectos subjetivos son, pues, un aspecto esencial de la ciencia, ya que la generación de modelos teóricos pasa por utilizar los recursos cognitivos asociados al polo subjetivo de la experiencia. La cuestión que debemos hacernos a continuación es si existe algún modo de salir de este círculo. La respuesta que nosotros proponemos es afirmativa, y el argumento en el que nos basamos se desarrollará a continuación. La idea principal es que los modelos teóricos emergen de la experiencia, y son subjetivos en la medida en que establecen relaciones entre dominios diversos, que llevan a un conjunto de inferencias determinadas que ayudan a destacar unos aspectos del fenómeno estudiado, a costa de menospreciar otros.

A continuación presentaremos los modos en que la actividad científica permite minimizar el peligro de la subjetividad ineliminable (y deseable, ya que es el puente creativo hacia la transformación de la experiencia) de la base experiencial de los modelos teóricos. En primer lugar, los modelos teóricos utilizados en un dominio o área de conocimiento tienen el objetivo de utilizar fusiones conceptuales o proyecciones metafóricas que permitan entender el fenómeno de interés en términos de otros dominios más accesibles a la experiencia humana. Por ejemplo, la teoría cinética de los gases concibe los comportamientos de un gas como si estuviera generado por pequeños cuerpos en movimiento. El ser humano tiene acceso a una mayor cantidad de información en relación al movimiento de cuerpos sólidos que al movimiento de un gas. Este tipo de estrategias se han utilizado en muchas áreas de la ciencia, dentro y fuera de la física. Las relaciones de semejanza que los científicos establecen entre el fenómeno estudiado y otros dominios de la experiencia a los que tiene más acceso le permiten generar inferencias acerca del fenómeno estudiado que, si bien no deben interpretarse como evidencias o como algo cierto, tampoco deben interpretarse como asociaciones arbitrarias, ya

que las relaciones de semejanza entre ambos dominios están ancladas en la experiencia corporal, cultural y lingüística del científico

Dentro de este tipo de razonamientos, veremos que la geometría y la aritmética han jugado un papel muy importante en la generación de proyecciones metafóricas y fusiones conceptuales subyacentes a los modelos teóricos de los científicos. La matemática supone un anclaje sólido para la experiencia y la cognición humanas, debido a la sistematicidad y repetibilidad de sus operaciones y resultados. Esto permite a los modelos teóricos de la ciencia hallar una base experiencial común que limita las diferencias que subyacen a los diferentes modelos. Comenzaremos por analizar las bases matemáticas de los modelos teóricos de la ciencia, presentando la matemática desde una base experiencial y cultural.

3. EXPERIENCIA Y MATEMÁTICA: DE LA PRÁCTICA A LOS DIAGRAMAS

Como hemos establecido en el anterior capítulo, la tesis principal del modelo experiencialista sostiene que toda cognición emerge, en última instancia, de la experiencia corporal e interactiva de un agente en su entorno. Por tanto, la cognición se basa en la codependencia y codeterminación entre sujeto y mundo, en la que se transforman mutuamente, acoplándose estructuralmente. Dicho de otro modo, la cognición y la generación de sentido de un agente es transformacional antes que representacional. El ser humano, como el resto de especies animales, transforma su entorno a medida que actúa en él.

La interacción entre agente y entorno no acaba en los límites corporales y neuronales del organismo, sino que sus procesos interactivos y cognitivos están mediados por las prácticas culturales compartidas con otros miembros de la especie. Es decir, el acoplamiento estructural entre un agente y su entorno presupone el establecimiento de patrones interactivos recurrentes con otros miembros de la especie, que modulan su acoplamiento estructural con el medio, facilitando su adaptación, y expandiendo su dominio de interacciones.

Es en el seno de estas prácticas culturales donde se genera un dominio lingüístico de interacciones recurrentes, entre otros procesos interactivos sistemáticos y estructurados, que permite establecer una red de significados comunes y un conjunto de representaciones que facilitan la generación de un horizonte intersubjetivo de experiencias hasta cierto punto compartidas, que dan lugar a procesos cognitivos también compartidos.

El lenguaje, junto con otras prácticas culturales y representacionales, ha permitido al ser humano expandir sus recursos y procesos cognitivos, llevando a la imaginación a idear mundos posibles, que han permitido transformar las estructuras materiales del mundo de un modo deliberado y reflexivo, radicalmente distinto al resto de especies animales. Por ejemplo, como quedó apuntado al final del anterior capítulo, el ser humano se caracteriza por la construcción de herramientas, como por ejemplo cuchillos, espadas, lanzas, y otras cosas por el estilo, que le permiten ampliar su dominio de interacciones.

Más allá de la construcción de armas y herramientas, el desarrollo de las civilizaciones humanas, y la creciente sofisticación del lenguaje y de otras estrategias representacionales, ha permitido diseñar y construir grandes edificios arquitectónicos, y otras construcciones para

gestionar los recursos naturales como el agua, como en el caso de los acueductos, diferentes tipos de esculturas, o dividir racionalmente los terrenos de cultivo, así como trazar el diseño de grandes ciudades que se han convertido en los centros neurálgicos de toda civilización humana. La esencia de estas construcciones reside en aprovechar las propiedades que ofrecen diferentes tipos de sustancias y materiales para darles una forma que permita ensamblar diferentes partes de un modo proporcionado, hasta conseguir la forma deseada del todo resultante. La transformación de la forma, pues, es la esencia de este tipo de diseños humanos que nos permiten transformar, mediante la expansión de nuestra cognición e imaginación, las propias estructuras materiales del mundo, hasta conseguir grandes construcciones cuyas formas simétricas, regulares, y equilibradas, y la proporción de sus tamaños, permiten obtener construcciones de una gran estabilidad y durabilidad en el tiempo, útiles para satisfacer determinados fines y necesidades, y optimizar los recursos del entorno.

A parte de la transformación de las formas de los objetos del mundo, la expansión de la cognición a partir del lenguaje transforma las mismas prácticas culturales e interrelaciones entre los miembros de un grupo. El lenguaje se sitúa en la base de los procesos de distribución y repartición de bienes dentro de una comunidad. La distribución de bienes tiene como condición de posibilidad la capacidad humana de enumerar la cantidad de ítems de cada uno de los bienes, y de establecer equivalencias entre los mismos. Existen múltiples evidencias experimentales que ponen de manifiesto que los seres humanos, igual que otras especies animales, pueden distinguir diferentes cantidades de un mismo tipo de objetos si su número no excede el valor de cuatro (Lakoff y Núñez 2000, Ferreirós 2005).

El lenguaje y otras técnicas del cuerpo permiten a los seres humanos ir más allá de esta capacidad innata, al utilizar diferentes partes del cuerpo, como los dedos de los pies o las manos, u otras estrategias representacionales, para contar diferentes colecciones de objetos, generando sistemas numéricos que permiten apresar conceptualmente cantidades numéricas ilimitadas. Por ejemplo, la clase sacerdotal sumeria utilizaba tablillas en las que dibujaban formas para representar diferentes bienes, como por ejemplo vacas. Al principio, dibujaban una forma similar a la de una vaca, con una relación de un dibujo por cada vaca. Gradualmente, las formas y los trazos de las mismas fueron simplificándose, hasta adquirir formas simples, como rectas horizontales o verticales, y en vez de dibujar una forma por unidad o bien, comenzaron a representar diferentes cantidades con una única forma que simbolizaba el número de objetos en cada caso, independientemente del tipo de objeto del que se tratase (Mason 2001, vol. 1).

De este modo, los números han pasado a formar parte del lenguaje cotidiano, como una entidad más que permite fijar la atención en un criterio interactivo determinado con el que comparar diferentes colecciones de objetos en función de su cantidad o numerosidad, dejando de lado cualquier otro aspecto de los objetos como su forma o tamaño. El intercambio y el comercio pasaban por asignar a diferentes objetos y colecciones de objetos valores numéricos diferentes. Por ejemplo, si una vaca equivale a dos cabras, una colección de 20 vacas equivale a 40 cabras, etc. Proponiendo un valor unidad arbitrario, culturas como la griega pudieron establecer el uso de monedas y dinero, que consistían en unidades de valor numérico

intercambiables por diferentes colecciones de objetos. Instrumentos como el ábaco ayudaron a estabilizar la existencia y uso de este tipo de entidades abstractas en el seno de la experiencia cotidiana.

Otro de los modos en los que los números pasarían a formar parte de la vida cotidiana de los miembros de una cultura es la estandarización de sistemas de medida. Como hemos dicho más arriba, los seres humanos han incidido activa y deliberadamente en la transformación material de su entorno. Para ello, han tenido que encontrar la manera de encajar las piezas de sus construcciones, ajustando pesos, tamaños, longitudes, etc., hasta hallar estructuras equilibradas y consistentes. Una de las estrategias fundamentales para conseguir esto era la de establecer patrones de medida estandarizados para los distintos criterios interactivos de interés. Por ejemplo, la medida de las longitudes o las áreas era una de las prácticas fundamentales para el diseño de construcciones arquitectónicas, de ciudades, barcos, herramientas de artillería, etc.

La construcción de artefactos como la regla, el cartabón y otras herramientas rectilíneas que se dividían en segmentos de unidades iguales permitían establecer una unidad de medida única con la que comparar diferentes longitudes y áreas de superficies. Esto a su vez permitía establecer relaciones de proporcionalidad entre los tamaños de diferentes construcciones, de modo que las medidas de las piezas de una fuesen una pista de las proporciones que debían guardar las piezas de la segunda. Finalmente, el tiempo era otro de los aspectos de la experiencia humana que se ha intentado medir en muchas culturas, mediante la proyección metafórica del tiempo como sustancia, que permite proyectar unidades de medida estandarizadas del tiempo, utilizando como medida la caída de la arena, el movimiento del Sol, o el movimiento de piezas mecánicas, tal y como quedó explicado en el capítulo anterior.

La estandarización numérica a partir del establecimiento de sistemas numerales para comparar diferentes colecciones de objetos y para establecer segmentos iguales de medida con los que construir instrumentos para comparar las medidas de diferentes rectas, áreas o ángulos, es una herramienta lingüística y procedimental clave para la expansión de la cognición humana y el establecimiento de prácticas comunes. Este tipo de prácticas estaban dotadas de una gran sistematicidad y estructuración, que otorgaban una notable invariancia a los resultados obtenidos.

Por ejemplo, entre los sumerios se comenzaron a estabilizar tablas de multiplicar, que eran un reflejo del cálculo del área de terrenos, mediante la multiplicación de la longitud por la anchura de los mismos. Por otro lado, los sumerios comenzaron a representar numéricamente no sólo colecciones de objetos, sino también partes de un mismo objeto mediante el uso de fracciones (Mason 2001, vol. 1).

Núñez y Lakoff afirman que muchas de las propiedades aritméticas del sistema numérico sientan sus bases en las proyecciones metafóricas de la colección de objetos, la fragmentación de objetos o la segmentación de herramientas utilizadas como unidad de

medida (Lakoff y Núñez 2000). Por esto, las propiedades de la aritmética tienen una sistematicidad y estructuración como las prácticas mencionadas.

Algo similar sucede en el caso de la geometría y el análisis matemático de las formas, ya que el diseño de formas regulares, simétricas y equilibradas es una práctica cultural compartida por todas las culturas humanas, en un nivel de desarrollo mayor o menor (Ferreirós 2005). Por todo esto, en los últimos años se está reivindicando la necesidad de explicar la objetividad, precisión y universalidad de la matemática, especialmente de sus bases geométricas y aritméticas, en vez de negarlas, como en el caso del constructivismo radical, que parece reducir la matemática a un conjunto de convenciones contingentes y locales.

La búsqueda de una base experiencial, corporal e interactiva de la matemática en sus estratos más elementales, y el estudio de cómo la matemática avanzada se genera en continuidad con estas bases nos parece una línea de investigación complementaria a la que estamos llevando aquí, al analizar las bases experienciales de la actividad científica. Sin embargo, no abordaremos aquí esta cuestión, sino que nos remitiremos a estudios como los de Ferreirós (2005), Núñez (2008), o Lakoff y Núñez (2000) que van en esta línea.

En este caso, no nos interesa tanto analizar las bases experienciales de la matemática elemental y su conexión con la matemática avanzada, sino más bien ver el modo en que estas prácticas matemáticas cobraron una forma unificada en el caso de la geometría griega, y la incidencia de la misma en el desarrollo de los primeros modelos teóricos de la ciencia. Hasta ahora hemos visto el modo en que la experiencia humana lleva consigo una serie de procesos cognitivos, y el modo en que los aspectos culturales y lingüísticos de la experiencia permiten ampliar el horizonte cognitivo de nuestra especie, dando lugar a una mayor transformación de las estructuras materiales del mundo, y al establecimiento de sistemas numéricos que permiten estandarizar los intercambios entre objetos y las medidas de diferentes criterios interactivos mediante el uso de instrumentos que proyectan segmentos iguales para comparar diferentes unidades de medida.

El asentamiento de este tipo de prácticas, y la construcción de nuevas formas como armas o edificios se convierten en parte de la vida cotidiana de una sociedad, de modo que las nuevas generaciones nacen dentro de ellas, y su experiencia del mundo incluye edificios arquitectónicos, armas, tablas de multiplicar, monedas, regla o cartabón, de un modo tan natural como incluye vacas o montañas. La representación pictórica de estos edificios o de estos sistemas numéricos que forman parte de la experiencia cotidiana pueden a su vez llevar aún más lejos los procesos cognitivos asociados a la manipulación activa y la interacción con estas nuevas representaciones de estos nuevos objetos construidos.

Éstas son las bases de las que parte Netz (1999) para su análisis de la geometría griega, y de la formación del razonamiento deductivo que va asociada a la misma. Como Netz, nosotros también nos centraremos en la tradición de la geometría griega, por ser la que más influyó en el desarrollo de la ciencia occidental, que es el tema que nos ocupa. Estamos de acuerdo con Netz en que la geometría griega no puede concebirse de forma adecuada sin atender al andamiaje material que permitió estabilizarla como práctica cultural. Los diagramas

acompañaron a la geometría desde su nacimiento, y vehicularon la comunicación entre geómetras, así como los procesos cognitivos de un mismo individuo. Los diagramas fueron la base constitutiva de la ontología de la geometría griega, y no una representación de figuras o entidades preexistentes.

Tomando como referencia los diseños y construcciones humanas, las partes de estas construcciones fueron convirtiéndose, con el uso del diagrama, y mediante procesos de fusión conceptual, en entidades abstractas y de carácter más general e ideal. De este modo, los diagramas fueron el lugar de asentamiento de figuras ideales, puntos, líneas, superficies, ángulos, segmentos, etc., con una realidad propia, que debía explorarse en sus propios términos. Las entidades geométricas que se hallaban en los diagramas sólo poseían formas y tamaños, estando limitadas las formas posibles por el uso de reglas, cartabones, compases, y otros instrumentos de medida y de diseño de estas figuras. Cualquier otro tipo de criterios interactivos, como el color, densidad o textura de los objetos quedaban fuera de las propiedades relevantes de estas entidades, lo que limitaba la variabilidad subjetiva de los diferentes geómetras a la hora de seleccionar criterios interactivos de exploración, limitando así el conjunto de exploraciones posibles, y el léxico asociado a esta nueva disciplina intelectual.

Gradualmente, la geometría fue consolidando un conjunto de entidades y operaciones propias, asociados a una sintaxis, una semántica y un léxico también propios, que permitían dejar fuera de este dominio interactivo otro tipo de posibilidades de exploración que formaban parte de la experiencia de la vida cotidiana. A partir de esta limitación exploratoria, ontológica y lingüística, la geometría dio lugar a invariancias en torno a sus objetos de estudio, que no dependían de la variabilidad subjetiva de la experiencia del geómetra, sus propósitos, o su nivel de habilidad. Por ejemplo, todos los triángulos rectángulos poseían un ángulo recto, independientemente del valor de los otros dos. La suma de estos dos ángulos siempre sumaba 90 grados. El área de un rectángulo era igual al producto de su base por la altura. Ya que todo rectángulo podía pensarse como compuesto por dos triángulos rectángulos, el área de todo triángulo rectángulo era igual a la mitad de la base por la altura, etc.

Estas invariancias que dependían de la forma de los objetos matemáticos, independientemente de otros criterios, y se mantenían constantes a pesar de que dos figuras geométricas del mismo tipo pudieran tener tamaños diferentes, poseían una enorme consistencia, porque eran repetibles por parte de diferentes agentes en momentos distintos, obteniendo siempre los mismos resultados, de un modo sistemático.

Esta sistematicidad y repetibilidad de los procedimientos y resultados de la geometría concedían gran peso a las conclusiones alcanzadas por los mismos, que se convertían inmediatamente en entidades reales, utilizadas tanto en el propio ámbito de la geometría como en la aplicación práctica de la misma, en el diseño y construcción de artefactos, o el estudio de los movimientos celestes a partir de la proyección de modelos geométricos.

Por ejemplo, el teorema de Pitágoras dice que si a partir de dos rectas perpendiculares que se inician en un mismo punto (esto es los catetos de un triángulo rectángulo) dibujas dos cuadrados, y calculas la suma de sus áreas, este resultado es igual al cuadrado que puedes

trazar a partir de la línea trazada por la hipotenusa del triángulo. Dicho de otro modo, el cuadrado de la hipotenusa es igual a la suma del cuadrado de los catetos. Si damos a cada cateto el valor de uno, y sumamos sus cuadrados, tenemos que el cuadrado de la hipotenusa es igual a dos y, por tanto, la hipotenusa es igual a raíz cuadrada de dos. Sin embargo, al intentar hallar el valor numérico de esta línea, no obtenemos ninguna fracción posible mediante la cual expresar dicho valor. Dicho de otro modo, raíz cuadrada de dos es un número que no puede apresarse como una colección de objetos, ni un conjunto de fragmentos de un objeto, ni el segmento de una línea, ni ninguno de los métodos de medida utilizados hasta el momento.

Otro ejemplo lo encontramos en el intento de la geometría griega de hallar el área de un círculo. Para ello, fueron trazando diferentes figuras geométricas que ocupaban cada vez una mayor parte del área del círculo. Las áreas de esas figuras podían calcularse mediante procedimientos conocidos. La idea era que el área de un círculo sería igual a la suma de polígonos que quedasen dentro, hasta ocupar su superficie por completo. Sin embargo, siempre quedaban partes del círculo sin cubrir, que podían ir rellenándose con polígonos cada vez más pequeños y con un mayor número de lados. El resultado fue que el área del círculo dependía de un número que, como la raíz cuadrada de dos, no hallaba un lugar delimitado en el conjunto de números racionales con los que se calculaban las proporciones geométricas halladas hasta el momento.

Estas nuevas entidades matemáticas se insertaron de un modo natural en los cálculos de la vida cotidiana relacionados con áreas de terrenos, diseño de construcciones arquitectónicas, etc. La integración de estas nuevas entidades dentro de la experiencia cotidiana se debía tanto a su utilidad práctica como al hecho de que el hallazgo de las mismas había sido el procedimiento riguroso y sistemático de las matemáticas, cuyos protocolos de acción garantizaban la repetibilidad de los resultados obtenidos por parte de cualquier agente en cualquier momento o circunstancia.

La matemática griega expandía de este modo los procesos cognitivos de los seres humanos, dando lugar a la generación de esquemas exploratorios emergentes que podían proyectarse sobre la realidad, anticipando nuevas y más precisas predicciones del comportamiento que tendrían sus construcciones, o del comportamiento de los astros, en la medida en que parecían seguir trayectorias fácilmente representables mediante formas y estructuras geométricas.

Este carácter peculiar de la matemática en su capacidad de producir conocimiento repetible y sistemático no pasó desapercibido por la comunidad intelectual griega, que pronto puso este tipo de conocimiento como algo especial y único, del cual todos los geómetras formaban parte como piezas de un entramado que conducía a un progreso común. Por ello, el conocimiento geométrico de los griegos pudo concentrarse en una única obra como son los *Elementos* de Euclides, que reunían, en un todo organizado y deductivo, los conocimientos adquiridos hasta la época en esta materia.

La geometría se distinguía en este sentido de conocimientos como los que generaba la filosofía o la retórica, llenos de controversias subjetivas, en las que cada intelectual proyectaba

su propia visión de las cosas sin unos criterios o protocolos comunes de investigación que permitiesen hallar perspectivas consensuadas.

Por este motivo, los conocimientos matemáticos fueron convirtiéndose, gradualmente, en bases para la generación de fusiones conceptuales y proyecciones metafóricas que permitiesen explicar la apariencia del mundo natural y humano. Por ejemplo, el atomismo de Demócrito se basaba en metáforas relacionadas con el comercio. Del mismo modo que en las relaciones de intercambio las cosas eran comparables en cuanto a su valor numérico, independientemente de otras propiedades en las que diferentes bienes podían parecerse o distinguirse en mayor o menor grado, todos los objetos del cosmos estaban formados, en última instancia, por el mismo tipo de átomos, o partículas constitutivas de la materia, a pesar de que las cualidades aparentes de los objetos pudieran diferir entre sí (Mason, vol. 1).

Por otro lado, intelectuales como los pitagóricos, o la tradición platónica, proyectaban sobre el cosmos estructuras geométricas como las que formaban la base de los edificios, máquinas, artefactos y medios de transporte construidos por los seres humanos. Según esta tradición, a la aparente diversidad de apariencias y objetos del cosmos subyacían triángulos, cuadrados, círculos y otras figuras más similares a las piezas constitutivas de este tipo de construcciones humanas, que a las formas irregulares y cambiantes de las cuales estaban formadas, aparentemente, los elementos naturales.

En síntesis, la dinámica entre experiencia, cognición y lenguaje da lugar a dominios interactivos emergentes como es el caso de la geometría y la aritmética, anclados en diagramas o tablillas para manipular objetos que representan los números y sus propiedades. Estos dominios interactivos de la matemática presentan, por un lado, una gran replicabilidad y sistematicidad, y, por el otro, una gran creatividad, como podemos apreciar con la emergencia de los números irracionales, fruto de la fusión conceptual entre geometría y aritmética. Estos nuevos dominios y sus propiedades se proyectan sobre otros dominios, como el movimiento de los astros, mediante proyecciones metafóricas e integraciones conceptuales, sobre el estudio de los gases, la electricidad o el calor (que pueden explorarse como modelos mecánicos u ondulatorios), o incluso la atención y la memoria (que se conceptualizan como tubos o almacenes). Estas proyecciones metafóricas son un paso clave para la integración conceptual entre estos dominios y el de la matemática, que permite aumentar la accesibilidad a aspectos de estos dominios, y la precisión en el estudio de los mismos, con el fin de obtener resultados replicables.

Especialmente fructífera fue la fusión conceptual entre la manipulación de las figuras geométricas en el diagrama, y el establecimiento de invariancias ligadas a la producción y relación de estas figuras geométricas, y la exploración de los cielos, en especial de los movimientos planetarios, ya que los planetas y las estrellas parecían ser esferas en el cosmos que se movían trazando líneas aproximadamente circulares, como si giraran alrededor de órbitas prefijadas por toda la eternidad. Esta tradición fue desarrollada por la escuela platónica, y tuvo continuidad hasta el Renacimiento y la astronomía moderna.

Entre otros, Platón fue uno de los intelectuales enamorados de la matemática, hasta el punto que utilizó el modelo de razonamientos matemáticos para postular un mundo de las Ideas con definiciones precisas, subyacente al mundo de las apariencias, y que concedía a éste un cierto orden. Además, redujo el estudio de la astronomía a problemas geométricos, de un modo bastante independiente a la observación de los cuerpos celestes, y de cualquier especulación adicional sobre la estructura física del cosmos y de los planetas y estrellas que lo conformaban, por ser la primera actividad más segura y fiable, y contar con unos protocolos y métodos más precisos. Para Platón, la astronomía era una actividad que consistía en el estudio y relación de las figuras geométricas, y debía desarrollarse mediante regla y cartabón, más que mediante la observación de los cielos y las reflexiones sobre su naturaleza última. La tradición astronómica siguió progresando hasta consolidarse el sistema tolemaico, que heredaría de un modo casi intacto la época del Renacimiento.

Posteriormente, la matemática también tuvo un despliegue práctico en la época alejandrina de la mano de matemáticos e ingenieros como el caso de Arquímedes. Con el uso de razonamientos matemáticos aplicados al diseño de artefactos, utilizaba artilugios como poleas y palancas para optimizar la fuerza requerida para levantar grandes pesos, controlando las longitudes de los extremos en torno a un punto central. La tradición mecánica encabezada por Arquímedes dio lugar al asentamiento de la mecánica (del griego “arte de hacer máquinas”) que tendría continuidad a lo largo de la Edad Media, con avances técnicos que mejorarían la explotación de recursos, y en el Renacimiento y la Edad Moderna, cuando la técnica y el conocimiento intelectual volvieron a reconciliarse de la mano de investigadores como Bacon, Galileo o Newton, entre otros.

Por otro lado, la cosmovisión aristotélica fue la otra gran herencia del pensamiento griego en la época del Renacimiento. Para Aristóteles, la matemática producía un conocimiento de carácter deductivo más perfecto y preciso que muchos otros, y útil en el diseño de artefactos. Sin embargo, Aristóteles diferenciaba claramente el estudio matemático y la mecánica o la técnica, del estudio de la física o los movimientos naturales. La naturaleza debía ser estudiada en sus propios términos, ya que el movimiento natural contaba con elementos materiales y atributos que pertenecían a las sustancias, lo que hacía impropia la fusión conceptual entre física y geometría. Por otro lado, el sistema astronómico de Aristóteles, basado también en criterios relacionados con los tipos de elementos, situaba la Tierra en el centro del cosmos. Ptolomeo sería el encargado de diseñar un modelo geométrico que aunara las observaciones astronómicas con la cosmovisión aristotélica.

Con esta herencia intelectual, nos adentramos ya en el Renacimiento, y en el análisis de la revolución científica, que dio sus primeros pasos en el ámbito de la astronomía, sin la incidencia todavía de la actividad experimental, sino con la combinación de observación y elaboración de modelos geométricos. La revolución astronómica supone un caso excelente mediante el que analizar el papel que jugarían los modelos geométricos, y la fusión conceptual entre naturaleza y matemática, de un modo independiente al rol que juega la práctica

experimental en la actividad científica, ya que la observación de los astros no permitía ningún tipo de interacción directa con ellos.

Galileo sería quien daría el paso que permitiría integrar esta tradición astronómica y matemática con la experimentación tal y como había sido planteada por Bacon, siendo Newton el que pondría el broche de oro a esta revolución. Este episodio será el que siente las bases de la dinámica de las prácticas científicas, las cuales mantendrán una cierta constancia a lo largo de la historia de la ciencia, hasta nuestros días.

3.1. LA REVOLUCIÓN ASTRONÓMICA DEL RENACIMIENTO: MODELOS TEÓRICOS COMO GUÍAS DE LA EXPERIENCIA

En los inicios del Renacimiento, el sistema geocéntrico, con pocas novedades respecto al sistema desarrollado por Ptolomeo, se había convertido, por méritos propios, en el sistema hegemónico a partir del cual interpretar las observaciones astronómicas. El sistema aristotélico, que situaba la Tierra en el centro del cosmos, era el marco de referencia de la visión del mundo por parte de los intelectuales. A su vez, la cosmovisión aristotélica encajaba con el modelo geocéntrico de Ptolomeo y era complementaria a éste, ya que compartían sus compromisos básicos, y cumplían funciones diferentes. De este modo, el sistema ptolemaico había quedado consolidado en el seno de la Iglesia, autoridad intelectual de la época. En segundo lugar, el modelo de Ptolomeo era útil para interpretar las observaciones astronómicas acumuladas, y para realizar predicciones suficientemente útiles y precisas en aplicaciones prácticas como la confección del calendario y la navegación.

El sistema ptolemaico era la culminación de la tradición pitagórica y platónica, cuyo objetivo era el de hallar el orden geométrico subyacente a los movimientos celestes. Según esta filosofía, los cuerpos celestes eran cuerpos divinos, cuyo movimiento debía consistir en el tipo de movimiento más perfecto, a saber, el movimiento circular uniforme, constante y eterno. Sin embargo, esta concepción ideal no siempre se correspondía con los datos acumulados. Por ejemplo, los planetas, cuyo nombre hace referencia en griego al carácter errático de su movimiento, parecían seguir trayectorias irregulares y variables.

Con tal de ajustar estas observaciones a un modelo geométrico basado en movimientos circulares uniformes, se fueron incluyendo nuevas esferas de movimiento, y puntos excéntricos que no coincidían con los puntos físicos, y que se convertían en los verdaderos centros de rotación de los planetas y astros. Este tipo de estrategias *ad hoc* fueron utilizadas por Ptolomeo de un modo pragmático, con tal de salvar las apariencias o ajustar su modelo a las observaciones de la época. Además, encajaba perfectamente con el sentido común de los intelectuales de la época.

Frente a este modelo hegemónico, Copérnico representa el espíritu del Renacimiento y el Humanismo nacientes. El Renacimiento se basaba en la idea de volver a los clásicos y rescatar su sabiduría, frente a una tradición intelectual decadente que había olvidado estas fuentes de saber y creatividad. Copérnico rescató hipótesis de antiguos griegos que habían planteado, desde un punto de vista cualitativo, un modelo heliocéntrico alternativo al sistema

geocéntrico ptolemaico-aristotélico. Por otro lado, el Humanismo se basaba en una revaloración del ser humano como centro de todas las cosas, y como foco de interés. Esto permitió que en esta época cobrasen una importancia capital la técnica y la mecánica desarrolladas por los seres humanos, lo que impulsó la proyección metafórica de Dios como Divino Arquitecto, cuyo diseño del cosmos debía ajustarse a los criterios de eficiencia y optimización de recursos de artesanos y técnicos como el relojero.

Estas ideas permitieron a Copérnico, quien trabajó duro en la recopilación de datos relativos a las posiciones y trayectorias de los planetas, así como a los tiempos que tardaban en completar sus órbitas, explorar los cielos como un diseño técnico, con la voluntad de hallar el modelo geométrico más simple que permitiese dar cuenta de los fenómenos con el mínimo número de esferas celestes posible, dejando de lado otros aspectos metafísicos relacionados con la cosmovisión aristotélica, y la composición material de los diferentes cuerpos del cosmos.

Copérnico halló en el sistema heliocéntrico el diseño más eficiente de los cielos. Rheticus, discípulo de Copérnico, explica la razón por la cual el sistema heliocéntrico podía considerarse más adecuado al diseño divino que el sistema geocéntrico, según la proyección metafórica del Divino Arquitecto:

“Puesto que vemos que este único movimiento satisface un número casi infinito de apariencias, ¿no habríamos de atribuir a Dios, Creador de la Naturaleza, esa destreza que observamos en los relojeros normales? En efecto, éstos evitan cuidadosamente insertar en el mecanismo cualquier rueda superflua o cualquiera cuya función se pueda realizar mejor con otra mediante un ligero cambio de posición” (Rheticus, citado en Mason, vol. 2, p. 11).

Tenemos, por tanto, en la época del Renacimiento dos sistemas alternativos para interpretar los movimientos celestes. Con ayuda de instrumentos como el astrolabio y el reloj mecánico, se habían podido acumular observaciones relativas a la posición y velocidad de los astros. A lo largo de la Edad Media se introdujeron nuevos instrumentos como el sextante y el cuadrante, superiores en precisión al astrolabio, que redujeron las divergencias a la hora de tomar medidas en diferentes momentos y por parte de diferentes astrónomos. Mediante pequeños experimentos y modelos geométricos, también se conocía el tamaño de la Tierra con un gran nivel de precisión. Las observaciones, junto con las inferencias que permitían los modelos geométricos, permitían realizar predicciones sobre los movimientos de los planetas, así como cálculos aproximados de las distancias de los diferentes planetas con respecto a su centro de rotación.

Los dos sistemas mencionados hacían posible interpretar las observaciones astronómicas y realizar predicciones con un nivel de precisión equivalente. Sin embargo, a la hora de elegir entre uno de ellos, existían diversos criterios. El sistema ptolemaico era el preferido por la Iglesia y el ámbito intelectual por ajustarse a la cosmovisión y la metafísica aristotélicas, que se habían fusionado por aquél entonces con la teología cristiana. Por otro lado, el sistema copernicano no debía juzgarse, según el propio Copérnico (2009), según la verdad o falsedad del mismo desde un punto de vista filosófico, sino atendiendo a la simplicidad de los cálculos permitida por éste, mucho mayor que la del sistema ptolemaico. En

este sentido, el modelo copernicano se convirtió en un nuevo esquema exploratorio del movimiento de los cielos, que facilitó considerablemente las operaciones de cálculo. De este modo, aportaba unas nuevas posibilidades exploratorias y prácticas en el ámbito del diseño de los calendarios, entre otras cosas, para lo que fue utilizado por la propia Iglesia, a pesar de que sus libros fueron prohibidos y totalmente desechados desde un punto de vista teórico.

La astronomía era, desde tiempos antiguos, una ciencia que dependía en gran medida de la matemática. Las observaciones de los astros pasaban por el registro numérico de longitudes, tiempos, velocidades, ángulos, distancias, etc. Por otro lado, las trayectorias de los astros se interpretaban a la luz del diseño de modelos geométricos. Con la obra de Copérnico, los datos astronómicos y los cálculos y predicciones que permitían cada uno de los modelos geométricos se convirtieron en el único criterio de valoración que tendría que tener en cuenta el astrónomo, dejando de lado otras cuestiones de carácter metafísico que Dios no revelaría a un mísero ser humano (Copérnico 2009). La experiencia acumulada en el ámbito de la matemática, con el desarrollo de la geometría y los sistemas de medida y de cálculo, se habían convertido de este modo en las bases de la investigación astronómica.

La revolución intelectual llevada a cabo por Copérnico en el ámbito de la astronomía culminaría con la obra de Kepler. Como el primero, Kepler llevó a cabo una tarea de recopilación de datos astronómicos, aunque la mayoría de los datos obtenidos tenían su origen en la dedicación de Tycho Brahe a la observación de los astros, que contaba con el mejor observatorio, los mejores instrumentos, y la mayor habilidad de la época. Brahe había conseguido un centro de observación astronómica en la mejor ubicación posible, y había construido instrumentos de enorme magnitud, que requerían más de una persona para su uso, lo que le permitió establecer las tablas de datos más exactas de la época, y que jamás se hayan conseguido sin la ayuda del telescopio.

A la hora de dar sentido a los datos mediante modelos geométricos, Kepler se dio cuenta de que tenía que ir más allá del propio Copérnico, pero atendiendo a sus propios criterios. Para Copérnico, abandonar la idea de que los movimientos celestes eran circulares era algo inconcebible. Sin embargo, si los criterios de valoración de los modelos geométricos debían ser la adecuación a los datos, la facilidad de cálculo y la precisión de las predicciones, se podían ensayar otras figuras geométricas cuyas propiedades eran conocidas desde la Antigüedad. La órbita de Marte resultaba ser tremendamente problemática a la hora de darle sentido a partir de movimientos circulares. Al representar gráficamente diferentes posiciones en diferentes momentos Kepler halló que estas posiciones encajaban si se trazaba una elipse para dibujar la trayectoria que debía seguir Marte para encontrarse en dichas posiciones, siendo el Sol uno de los focos de la misma. De este modo, Kepler estableció que todo planeta gira alrededor del Sol formando una elipse, y quedando el Sol en uno de los focos.

Yendo aún más lejos, Kepler analizó los datos astronómicos dentro de su modelo elíptico, y halló invariancias similares a las obtenidas en el estudio de la geometría. Del mismo modo que el área de un rectángulo era igual a la base por su altura, Kepler halló que los datos obtenidos respondían a la ley de que el área recorrida por un planeta era igual en tiempos

iguales, de modo que cuando se hallaba más cerca del foco de la elipse recorría más distancia en el mismo tiempo, con respecto a cuando se hallaba más lejos del mismo. La imaginación de Kepler no se detuvo aquí, y tras nueve años de seguir analizando las tablas astronómicas buscando regularidades matemáticas subyacentes, aparentemente invisibles, descubrió que los cuadrados de los tiempos que emplean los planetas para completar sus órbitas son proporcionales a los cubos de sus respectivas distancias medias al Sol. Esta tercera invariancia era una muestra de hasta qué punto el diseño divino de los cielos amagaba un sinfín de sorpresas y secretos que podían expresarse matemáticamente.

Como Copérnico, Kepler llegó a la conclusión de que sus modelos geométricos no debían ajustarse a ninguna restricción metafísica. Si se ajustaban o no, no era problema del astrónomo. Lo importante en esta ciencia era que los modelos fueran razonables, siendo el objetivo principal de una hipótesis "la demostración del fenómeno y su utilidad en la vida diaria" (Kepler, citado en Mason, vol. 2, p. 19). El resto de suposiciones o especulaciones de otro tipo, como la causa de los movimientos, el Alma de los planetas, etc., eran cuestiones que quedaban fuera del plano demostrativo y científico que debía caracterizar la tarea del astrónomo.

Esta breve presentación de la revolución astronómica nos permitirá mostrar las características fundamentales que tienen en común los modelos teóricos de la ciencia. Los modelos astronómicos desarrollados por estos autores utilizaron los recursos de la matemática, y más concretamente de la geometría y los sistemas de medida, para dar un mayor rigor a sus demostraciones, predicciones y cálculos. Ya que la matemática gozaba de enorme admiración en el ámbito intelectual por su capacidad de generar procedimientos y operaciones repetibles de un modo sistemático que daban lugar a un conocimiento 'objetivo' y universal, basar la astronomía en modelos geométricos y contrastar dichos modelos con tablas de datos numéricos era una garantía de rigor demostrativo y predictivo.

La astronomía se desmarcaba así de otro tipo de discursos explicativos del cosmos que atendían a otro tipo de criterios y fusiones conceptuales fuera de la matemática, y que daban lugar a una mayor controversia y falta de contrastación. La forma de las trayectorias, las distancias y áreas recorridas en tiempos determinados, etc., se convertían en los únicos criterios a tener en cuenta en la generación y valoración de estos modelos teóricos que permitían explorar los cielos. La culminación de la mecánica celeste, con las leyes de Kepler, era la prueba de que este tipo de enfoque era el más adecuado para obtener demostraciones y predicciones precisas de los movimientos celestes, aproximándose así a los secretos matemáticos del diseño divino.

Las leyes de Kepler se convirtieron en parte del sentido común de los astrónomos e intelectuales posteriores, hasta el punto de que para Newton, deducirlas a partir de su modelo matemático unificador sería una necesidad y una prueba de que iba por el buen camino. Más allá de la astronomía, y como veremos a continuación, los modelos teóricos basados en modelos geométricos subyacentes a los fenómenos físicos o químicos, junto con el apoyo de sistemas numéricos que permitieran generar datos en relación a los criterios interactivos de

interés en cada caso, dependiendo del fenómeno de estudio, son los requisitos a los cuales debía ajustarse cualquier modelo teórico de la ciencia, independientemente de que conceptualmente estuviese inspirado en metáforas como el movimiento de ondas, partículas, campos, líneas de fuerza, fuerzas a distancia, centros de masa, etc.

La integración conceptual entre los modelos geométricos y el movimiento de los astros, por un lado, y el uso de instrumentos para precisar las posiciones y velocidades de los planetas, por el otro, permitía generar una dinámica entre los modelos teóricos y los datos empíricos. Esta integración conceptual de la matemática se extenderá a nuevos dominios de la experiencia mediante proyecciones metafóricas que den lugar a modelos teóricos basados en visualizaciones geométricas y artefactos o instrumentos para acceder a datos precisos en dicho dominio, de tal manera que se puedan buscar ajustes entre los modelos teóricos y los datos provenientes de la experiencia.

La tradición de elaborar modelos geométricos y contrastarlos con datos generados a partir de estandarizar unidades de medida para los factores de estudio iniciada por la astronomía se expandiría al estudio del movimiento y otros fenómenos del mundo sublunar. En este caso, estos modelos no estarían al margen de otras consideraciones físicas, ya que la posibilidad de experimentar y explorar los fenómenos terrestres daría lugar a una combinación de la modelización y la experimentación, sentando así las bases fundamentales de la actividad científica. El estudio del movimiento por parte de Galileo, y su innovación con respecto al sistema aristotélico, nos permitirán presentar las características de esta dinámica de las prácticas científicas, y de la interrelación entre modelos teóricos y actividad experimental.

4. LA OBJETIVACIÓN DEL MOVIMIENTO: CIENCIA Y MECÁNICA

4.1. DINÁMICA ENTRE MODELOS TEÓRICOS Y EXPERIMENTACIÓN: GALILEO

Hasta este momento hemos visto los dos aspectos fundamentales de la actividad científica por separado. Por un lado, hemos visto algunos ejemplos de experimentación exploratoria. Por el otro, en el caso de la revolución astronómica, hemos podido apreciar la importancia de la matemática y la mecánica en el estudio del movimiento de los astros, mediante la proyección de modelos geométricos y la proyección de sistemas numéricos en la observación de los movimientos celestes.

Lo que haremos a continuación es examinar el modo en que estos dos aspectos de la actividad científica se fusionaron en una dinámica única. Galileo es la figura más representativa de esta fusión, de modo que nos centraremos en algunas de sus aportaciones fundamentales para analizarla. La tesis principal de este apartado es que la actividad científica sólo puede comprenderse en su plenitud atendiendo a las relaciones dinámicas y bidireccionales entre modelos teóricos y experimentación, tal y como han sido aquí presentados, y siempre considerados en el seno de un fondo experiencial más amplio, que envuelve el sentido común, la técnica y la tecnología de cada época o contexto. Este nivel de análisis será el que nos permitirá describir las características de la práctica científica, y sus aportaciones más significativas.

Las aportaciones de Galileo a la física pueden considerarse como la síntesis entre la revolución astronómica y la nueva metodología experimental. La primera estaba amparada en los modelos teóricos matemáticos aplicados al estudio de los astros, dejando de lado otras consideraciones cosmológicas o metafísicas, para atender a variables o magnitudes cuantificables y a la proyección de modelos geométricos que pudieran demostrar y predecir las tablas de datos. La segunda, en un nuevo modo de explorar y cuestionar la naturaleza, mediante una variación sistemática de los criterios interactivos relevantes en un fenómeno natural, hasta dar con las condiciones esenciales mínimas para controlar su aparición y regular su intensidad.

Como amante de la matemática y gran interesado en las mejoras técnicas y mecánicas de su época, Galileo construyó un telescopio, conocedor de la técnica necesaria para hacerlo, e interpretó sus observaciones astronómicas realizadas con este artefacto a la luz de su conocimiento en perspectiva geométrica en el ámbito de la pintura (Ordóñez 2003). Galileo realizó múltiples observaciones que, a su juicio, y al de otros, como Kepler, eran más que suficientes para demostrar que el modelo astronómico heliocéntrico no sólo permitía realizar cálculos más simples que el geocéntrico, sino que además era más plausible ontológicamente. Sin embargo, sus observaciones no fueron aceptadas por muchos aristotélicos ni por los miembros de la Iglesia, a pesar de que su instrumento había demostrado ser útil para predecir la llegada de los barcos a la orilla antes de que cualquiera pudiera detectarlos a ojo desnudo. Los argumentos en contra se basaban en la dificultad de interpretar las manchas observadas con el telescopio, y en la posibilidad de que fueran manchas generadas por el mismo artefacto.

Sea como fuere, Galileo buscó otras estrategias para defender el modelo copernicano. La más importante fue la de recurrir a la imaginación y la matemática, haciendo un uso pragmático de la misma, y generando modelos conceptuales posibles inspirados en la geometría, que permitirían realizar un conjunto de inferencias que apuntaran a una mayor plausibilidad del modelo copernicano. En este sentido, Galileo era un heredero de la tradición astronómica de pensar la naturaleza en términos matemáticos.

El argumento de Galileo no pudo demostrar que el sistema copernicano fuera superior al aristotélico, pero al menos sí parecía dejar claro que era una cuestión que no podía decidirse mediante argumentos basados en la experiencia de los movimientos de los cuerpos en nuestra vida cotidiana. Una de las críticas más populares contra el modelo copernicano era que, si la tierra se movía, el aire quedaría siempre atrás con respecto a ésta, soplando siempre desde el este, a no ser que hubiera una fuerza moviéndola constantemente a la misma velocidad que la primera. Entre los diversos argumentos de Copérnico, uno de ellos sostenía que el aire rota “sin resistencia, dado que el aire se halla contiguo a la tierra en rotación constante” (Copérnico, citado en Mason 2001, vol. 2, p. 13). Por tanto, los seres humanos también se hallarían en un movimiento contiguo al de la Tierra, por lo que no notarían su rotación constante.

Los modelos geométricos abstractos habían adquirido una gran libertad con respecto a cualquier restricción metafísica o cosmológica de sentido común en la época, de modo que podía imaginarse la atmósfera como una circunferencia más grande que la Tierra rotando con

ella a la misma velocidad alrededor del mismo centro. Galileo también imaginó qué sucedería si se dejase caer un objeto desde una torre en la superficie terrestre. Según el razonamiento aristotélico, la Tierra, si se moviese, dejaría el objeto atrás, de modo que éste caería unos metros más atrás que desde el punto de la torre desde donde fue lanzado. Ya que los hechos parecían demostrar que los objetos caían perpendicularmente a la superficie terrestre, esto quería decir que la Tierra estaba inmóvil.

Sin embargo, si la atmósfera y los seres humanos nos movemos con la Tierra, sin notar este movimiento, ya que nos movemos a la misma velocidad, si dejáramos caer un objeto, y nos situáramos fuera de la Tierra, veríamos que éste cae hacia el centro de la misma, debido a la gravedad del cuerpo, pero también se movería horizontalmente con el planeta. Al situarnos dentro del planeta, y movernos con él, no notamos el componente horizontal del movimiento, sino sólo el vertical. Este argumento hacía que si la Tierra estaba en el centro del cosmos o no, no sería un tema que pudiera resolverse mediante este tipo de razonamientos. Lo que más nos interesa en este punto es que Galileo concebía la caída de los cuerpos como un movimiento compuesto por un componente horizontal y otro vertical. La caracterización de estos dos tipos de movimientos en la superficie terrestre sería lo que ocuparía los siguientes años de investigación de Galileo.

La teoría aristotélica distinguía entre movimientos naturales y no naturales. Entre los primeros, sólo concebía la tendencia natural de cada elemento a ocupar su lugar en el cosmos. Estos movimientos consistían en un alejamiento o una aproximación al centro de la tierra, exceptuando el éter, del que estaban compuestos los cuerpos celestes, que seguía movimientos circulares en el mundo supralunar. Sin embargo, Copérnico, y más tarde Galileo, habían argumentado, siguiendo razonamientos sobre la base exploratoria de sus modelos geométricos, que todo cuerpo de la atmósfera sigue un movimiento paralelo al del centro de la Tierra, a una velocidad constante.

Galileo, como Copérnico y Kepler, había comprendido ya, tras el fracaso a la hora de comunicar sus observaciones mediante el telescopio, que este tipo de discusiones no se resolverían en términos de verdad y falsedad, sino que la fuerza de sus argumentos y sus modelos teóricos residiría en lo que se pudiera hacer con ellos, y no tanto en lo que pudieran demostrar mediante argumentos y silogismos. Como agente corporal e interactivo, Galileo conocía el papel que juega el viento a favor o en contra del movimiento de los cuerpos, acelerándolos o frenándolos. Además, su interés por la mecánica y la técnica le hacía buen conocedor de la importancia de eliminar las resistencias y fricciones de las superficies de los cuerpos, ya que frenaban o retardaban el movimiento de un cuerpo sobre la superficie del otro. Familiarizado con la experiencia de los artilleros, hasta el punto de admitir que el movimiento de los proyectiles fue uno de los problemas que más estimuló su interés por la investigación, Galileo conocía que las flechas lanzadas horizontalmente llegaban más lejos que las lanzadas planas, en perpendicular a la superficie terrestre. Esta experiencia adquirida a través de la práctica parecía ir en contra de la idea establecida de que era el viento el que mantenía al proyectil en el aire, ya que de ser así, la flecha plana estaría más impulsada por éste.

Galileo se propuso diseñar un espacio de trabajo en el que pudiera dejar de lado todas estas causas externas de aceleración y retardo del movimiento. El aire, el rozamiento, y todas estas contingencias generaban alteraciones confusas en el movimiento horizontal de los cuerpos, de modo que debían ponerse a un lado. La idea de Galileo era eliminar las imperfecciones de la materia para que su entorno de trabajo se pareciese lo más posible al modelo teórico geométrico que utilizaba como fuente de inspiración para sus deducciones.

Para ello, utilizó bolas de metal perfectamente pulimentadas, que fueron dejadas caer por planos inclinados, también de superficies lisas perfectamente pulimentadas. Al lanzar las bolas desde diferentes alturas y con planos de diferente inclinación, las bolas parecían seguir un movimiento constante al descender del plano y rodar por una superficie horizontal. Al eliminar las causas externas de la aceleración y el retardo del movimiento, los cuerpos se comportaban siguiendo un movimiento constante, que parecía extenderse hasta el infinito. La conclusión de Galileo era que, si un objeto rodase de este modo por una superficie horizontal perfectamente pulimentada, y en ausencia del aire en cualquier dirección, daría la vuelta a la tierra a una velocidad constante, hasta que fuera detenido por alguna fuerza externa (Galileo 1997).

Galileo había caracterizado el movimiento perpendicular a la superficie terrestre como un movimiento constante y uniforme, mediante una combinación de los modelos teóricos geométricos y la intervención y manipulación activa de la naturaleza, variando y controlando los criterios interactivos de interés. El reto ahora era el de realizar un análisis similar del movimiento en caída libre de los cuerpos en la superficie terrestre. Una vez más, Aristóteles se había convertido en el filósofo de referencia. Según el modelo aristotélico, la caída de un cuerpo dependería de su peso, siendo los cuerpos más pesados los que caerían de un modo más rápido. Por otro lado, la experiencia común parecía poner de manifiesto que los cuerpos caían con una velocidad que iba acelerando a medida que se acercaban a la superficie terrestre. El mismo Galileo había experimentado lanzando objetos a un cojín (Harré 1986, pp. 67-72), demostrando que el cuerpo dejaba una mayor hendidura si se lanzaba desde una mayor altura, siendo esto una experiencia a favor de la idea de que los cuerpos se aceleran al caer, ya que si los cuerpos cayeran a velocidad constante dejarían una hendidura similar independientemente de la altura desde la que cayesen.

La idea de Galileo era la de descifrar los secretos matemáticos de la naturaleza, y en este caso de la caída de los graves. Para ello, fue necesaria una fusión entre la experimentación exploratoria y el desarrollo de modelos geométricos. Por un lado, Galileo dedicaba su tiempo a realizar mediciones lo más precisas posibles de la caída de los cuerpos desde alturas considerables, como la torre de Pisa, para obtener relaciones entre distancias y tiempos de cuerpos de diferentes pesos. Las medidas dejaban entrever que los cuerpos de diferentes pesos llegaban al suelo prácticamente en el mismo instante, siempre y cuando la influencia del viento fuese despreciable. Con este tipo de exploraciones, Galileo se enfrentaba a una de las predicciones aristotélicas en torno a la caída de los graves, según la cual “una esfera de hierro de 100 libras, cayendo desde una altura de 100 cúbitos, llega a tierra antes

que una bola de una libra haya caído un simple cúbito" (Galileo 1967). Los experimentos de Galileo parecían ir totalmente en contra de esta predicción.

En 1586, Stevin había publicado una obra de mecánica en la que se encontraba relatado un experimento con resultados parecidos a los hallados por Galileo. Stevin decía que al dejar caer juntas dos bolas de plomo, una de ellas diez veces más pesada que la otra, sobre una superficie que emitiese un sonido claro y contundente, éstas no invertían un tiempo distinto en la caída, sino que caían con tanta igualdad que ambos ruidos sobre la superficie parecían una única sensación de sonido (Mason 2001, vol. 2, p. 40).

Del mismo modo que en el caso del movimiento horizontal, el papel del aire en la caída de los graves no era esencial a éste, y confundía los resultados obtenidos. Por tanto, el laboratorio de Galileo, compuesto de planos inclinados y bolas metálicas, y aislado de la influencia del aire, parecía también en este caso el mejor entorno para estudiar este tipo de movimiento.

Por otro lado, Galileo reflexionaba sobre este tipo de movimiento ayudándose de las herramientas de la matemática, tal y como habían hecho sus antecesores en el campo de la astronomía. Galileo, inspirado por las representaciones geométricas del movimiento llevadas a cabo por la escuela de Oxford, concebía las distancias, velocidades y tiempos de los movimientos de los cuerpos mediante figuras geométricas, aprovechando los procedimientos repetibles y sistemáticos de la geometría para realizar inferencias sólidas sobre el movimiento de los cuerpos y la caída de los graves. Galileo partía de la idea de que el movimiento de la caída de los graves, a pesar de estar acelerado, a diferencia del movimiento constante horizontal, debía guardar algún tipo de constancia o regularidad. Con esta idea, Galileo enunció la hipótesis de que, si bien la caída de los graves no recorría las mismas distancias en los mismos tiempos, esto es, no mantenía una velocidad constante, sí cambiaba su velocidad de un modo uniforme a lo largo del tiempo, es decir, mantenía una aceleración constante.

La constancia de la aceleración ofrecía la posibilidad de hallar alguna proporcionalidad oculta a la experiencia cotidiana. Definiendo la velocidad como la distancia recorrida en un intervalo de tiempo determinado, y la aceleración como la variación de la velocidad en un intervalo de tiempo determinado, Galileo podía realizar una fusión conceptual entre las variables cinemáticas y figuras geométricas. Por ejemplo, si imaginamos que el tiempo del movimiento de un cuerpo viene representado por la base de un rectángulo, y la velocidad por su altura, podemos concluir que la distancia viene representada por el área del rectángulo. Si bien la fusión conceptual entre movimiento y figuras geométricas no es necesaria, las inferencias generadas a través de la misma no son arbitrarias, y deben ser aceptadas, si se entra en el juego de explorar el movimiento mediante este tipo de esquemas geométricos.

Por ejemplo, si la velocidad es igual a la distancia recorrida en un intervalo de tiempo, podemos deducir, por razonamiento matemático, que la distancia es igual al producto de la velocidad por el intervalo de tiempo. Esta igualdad matemática es análoga a la que hallamos entre el área, la base y la altura de un rectángulo. Por tanto, la representación de estos factores del movimiento debe implementarse así en el rectángulo, y no de otro modo.

Por otro lado, un rectángulo representa necesariamente un movimiento uniforme, ya que la velocidad viene representada por la altura, y ésta no varía a lo largo de la figura. Por el contrario, un triángulo rectángulo representaría el movimiento de un cuerpo con aceleración constante, cuya velocidad crece de un modo uniforme a lo largo del tiempo. Finalmente, un triángulo isósceles representaría el movimiento de un cuerpo que se mueve con una velocidad que crece con una aceleración constante, hasta que alcanza una velocidad máxima y comienza a decelerar con un retardo de la velocidad constante y de igual magnitud que la aceleración anterior.

Mediante este tipo de razonamientos, Galileo pone de manifiesto que la distancia recorrida por un cuerpo con aceleración constante es igual que la distancia recorrida por un cuerpo con una velocidad constante, cuyo valor es el valor medio de las velocidades inicial y final del cuerpo anterior (teorema de Merton). Esta demostración se basa en el solapamiento de las figuras geométricas que representan cada uno de estos movimientos. Ya que el área de un triángulo rectángulo es igual a la mitad del producto de la base por la altura, y el área del rectángulo en el que este triángulo se hallase circunscrito es el doble de ésta, esto es, base por altura, podemos concluir que el área de un rectángulo que tuviese la mitad de la altura del triángulo rectángulo tendría un área igual a éste. Como las áreas representan las distancias y las alturas las velocidades, y las áreas de estas figuras son iguales, y la altura del rectángulo es la mitad que la altura alcanzada por el triángulo rectángulo en su punto final, se concluye, necesariamente, lo expuesto en el teorema de Merton.

Con un razonamiento muy similar, que no detallaremos aquí con el fin de facilitar la exposición y el seguimiento del hilo conductor, Galileo llega a la conclusión de que la caída de los graves mantiene una regularidad o invariancia independiente del peso de los cuerpos, según la cual la distancia recorrida por un cuerpo en caída libre es igual al cuadrado del intervalo de tiempo transcurrido durante esa caída.

Galileo presenta éste y otros argumentos sobre la base de la fusión conceptual entre la geometría euclidiana y los factores implicados en la caída de los graves, pero utiliza la voz de Simplicio para criticar la argumentación presentada, no porque sea falsa o incluya contradicciones o inconsistencias, sino porque se basa en un mundo imaginario de “sutilezas matemáticas”, que nada tienen que ver con el mundo físico. Galileo replica que el científico debe eliminar las imperfecciones de la materia, hasta que el mundo físico se parezca tanto a un espacio geométrico, que las conclusiones halladas en el plano ideal puedan extenderse al plano físico (Giucorello 2003).

Galileo narra con detalle los experimentos que llevó a cabo para poner a prueba sus hipótesis e inferencias matemáticas. El experimento consiste en dejar caer pelotas redondas pulimentadas para que adquiriesen la forma perfecta de una esfera, haciéndolas rodar por planos inclinados también perfectamente pulimentados. Galileo dividió en segmentos la hipotenusa de los planos, para poder medir las distancias recorridas. También utilizó su ingenio matemático, sobre la base de la geometría euclidiana, para demostrar que el componente horizontal del movimiento en el plano era independiente al movimiento vertical, de modo que el

plano sólo servía para ralentizar la caída natural de los cuerpos hacia el centro de la tierra, y poder medir el tiempo transcurrido, sin alterar la naturaleza del movimiento vertical o de caída.

Galileo realizó series de experimentos, variando de forma sistemática la altura de caída, y otros factores que podrían ser relevantes, o incidir de algún modo en el comportamiento del cuerpo, hasta dar con una tabla de datos que relacionaba las distancias recorridas y los intervalos de tiempo transcurridos en cada caso. Para medir el agua, Galileo utilizó en primer lugar el ritmo del pulso. Debido a la variabilidad del mismo, no parecía ser una buena representación de la medida de un tiempo que transcurría de un modo uniforme. Por ello, utilizó una vasija de agua colocada en una posición elevada. La idea era dejar caer agua en una copa mediante la apertura de un chorro. Las diferencias de peso del agua en la copa en diferentes ensayos indicarían las diferencias de tiempo transcurrido en cada caso. Los resultados experimentales obtenidos se aproximaban notablemente a la hipótesis matemática planteada, siendo las diferencias mucho menores que las semejanzas, de modo que las primeras podían deberse a imperfecciones de la materia que no habían sido controladas, pero que a la práctica podían despreciarse.

Las investigaciones de Galileo y sus resultados no pueden entenderse plenamente considerando la actividad teórica de un modo independiente a la experimental. A su vez, la dinámica entre modelos teóricos y experimentación se halla siempre inmersa en la experiencia cotidiana del científico. Tanto sus modelos teóricos y los razonamientos derivados de los mismos como su actividad experimental nacen desde esta base experiencial, y se desarrollan a partir de la misma. A continuación presentaremos de un modo sintético el modo en que el ejemplo de Galileo permite apreciar las relaciones entre la experiencia cotidiana, la realización de experimentos exploratorios, la generación y desarrollo de modelos teóricos, y el diseño de nuevos experimentos. Finalmente, estudiaremos con éste y otros ejemplos las implicaciones epistémicas de este modelo dinámico de las prácticas científicas y su base experiencial.

El modelo teórico de Galileo es un producto del modo en que el científico italiano fusiona conceptualmente diversos dominios de su experiencia. Como agente corpóreo, familiarizado con el mundo de la artillería y la mecánica, conocía el freno que el rozamiento entre superficies supone para la continuidad del movimiento. Del mismo modo, conocía que el aire, más que ser el motor del movimiento de un proyectil, era un freno para el avance del mismo. Esta carga experiencial chocaba con algunos de los supuestos e inferencias del modelo aristotélico.

Por otro lado, Galileo estaba familiarizado con la práctica cultural de la matemática, y con el uso que de ella se había hecho para representar geométricamente el movimiento de los astros, para dar con un sistema que poseía un elevado poder predictivo, y una simplicidad en el cálculo de dichas predicciones. A partir de esta representación geométrica, había podido imaginar cómo se vería la caída de un cuerpo en la atmósfera terrestre desde fuera de dicho sistema de referencia, llegando a la conclusión de que lo que dentro de un sistema de referencia a velocidad constante cae verticalmente, desde fuera de dicho sistema se ve caer el

objeto siguiendo una línea diagonal compuesta de la caída hacia abajo y el movimiento horizontal.

Este tipo de experiencias y procesos cognitivos llevados a cabo por Galileo no dependían de su subjetividad, sino de su interacción con el mundo material, y la participación en prácticas culturales como la mecánica o la geometría. A partir de esta base experiencial y cognitiva, Galileo elabora un modelo teórico en el que imagina un movimiento sin rozamientos ni la influencia del aire, y genera una fusión conceptual entre el movimiento en caída libre y las propiedades geométricas de rectángulos y triángulos. Esta fusión conceptual sí puede considerarse algo subjetivo, en la medida en que se basa en una fusión conceptual que no se había construido ni explorado nunca anteriormente del modo en que lo hizo el propio Galileo.

No obstante, ya que la fusión conceptual que se lleva a cabo se basa en dominios de la experiencia y en prácticas culturales perfectamente asentadas en la experiencia común de la época, las inferencias y conclusiones a las que Galileo llega no pueden considerarse subjetivas ni arbitrarias, sino que son comprensibles y posibles de seguir para todo aquél agente corpóreo que con unas prácticas culturales similares, como era el caso de la mayoría de intelectuales de la época.

A pesar de poder seguir sus argumentos, se le podía replicar a Galileo, como hace él mismo en boca de Simplicio en sus *Diálogos*, que está confundiendo un dominio abstracto y formal de la experiencia, como el matemático, con uno físico, material y concreto. En este punto, se pone de manifiesto que el modelo teórico de Galileo, además de surgir de la fusión conceptual de diferentes dominios de la experiencia, y precisamente por ello, lleva consigo la transformación potencial de las estructuras materiales del mundo, de modo que la fusión conceptual ideada por él pueda implementarse materialmente en un diseño experimental.

Cabe destacar que este diseño experimental, a pesar de estar parcialmente guiado por los esquemas mentales del modelo teórico, a su vez depende de otro tipo de experiencias y prácticas culturales que determinan los resultados del mismo. Por ejemplo, la utilización de planos inclinados, la utilización de sistemas de medida basados en segmentos para cuantificar la longitud, o el uso de balanzas para medir el peso, así como la idea de que el peso de la copa de agua que caía de la vasija sería proporcional al tiempo recorrido en la caída de las bolas por el plano eran prácticas culturales y razonamientos que estaban anclados en la experiencia cotidiana, anterior e independiente del modelo teórico de Galileo.

Podemos concluir que la dinámica de las prácticas científicas surge de la experiencia intersubjetiva dentro de una comunidad de agentes corpóreos que participan de unas prácticas comunes, y transforma a su vez la experiencia de dicha comunidad mediante la construcción de diseños experimentales que utilizan algunas de estas prácticas culturales comunes como herramientas para obtener un espacio experimental que permita obtener una serie de datos determinados, mediante la variación sistemática de criterios interactivos, hasta obtener invariancias o reglas determinadas. Estos diseños experimentales minimizan la variabilidad subjetiva de los científicos que los replican, dando lugar a procesos sistemáticos y repetibles.

En parte, los diseños experimentales están guiados por modelos teóricos que surgen de la experiencia intersubjetiva, pero que se desarrollan a partir de fusiones conceptuales que dependen del polo más subjetivo de la experiencia del científico. Estos modelos son un puente para el diseño de nuevos experimentos, ya que son el motor de la creatividad del científico, pero no determinan los resultados de los mismos, ya que éstos dependen de sistemas de medida y el uso de instrumentos que son de uso común, al margen del modelo teórico en cuestión.

A través de la fusión conceptual entre diversos aspectos del movimiento de los cuerpos y la geometría, y su implementación en diseños experimentales que dependían de esta fusión conceptual, por un lado, y de sistemas de medida, artefactos y prácticas previamente estandarizadas, por el otro, la dinámica científica permite generar diseños experimentales que permiten objetivar nuevas dimensiones de la experiencia, como el movimiento en caída libre en el caso que nos ocupa. Esta objetivación se basa en la escasa variabilidad en la obtención de los datos por parte de diferentes agentes, a pesar de sus posibles diferencias subjetivas. Recientemente, Settle fue capaz de repetir los experimentos de Galileo obteniendo resultados muy similares (Harré 1986, pp. 67-72).

La experiencia de tirar dos objetos de diferente peso y que caigan al mismo tiempo también se ha confirmado a lo largo de la historia con el desarrollo de las bombas de vacío, o con la llegada del hombre a la Luna. Al ser en este satélite la atracción gravitatoria mucho menor, la simultaneidad en la caída de dos cuerpos de diferente masa era mucho más apreciable. Esta repetibilidad de los experimentos de Galileo y sus resultados en diferentes situaciones, y por parte de agentes diversos, es lo que nos lleva a afirmar que la dinámica de las prácticas científicas lleva consigo una objetivación de diferentes dominios interactivos.

A continuación analizaremos las implicaciones epistémicas de nuestro modelo de la ciencia. La idea principal es que la objetivación de determinados dominios interactivos lleva consigo la estabilización de nuevos esquemas exploratorios y la transformación de las propias estructuras del mundo mediante el desarrollo técnico y tecnológico. De este modo, la objetivación realizada en un dominio determinado se convierte en una base experiencial para la exploración científica de otras áreas de conocimiento, de modo que la ciencia acaba constituyendo una red de prácticas e interacciones en la que la objetivación de un dominio sirve como base para la objetivación de nuevos dominios de la experiencia.

4.2. MECÁNICA NEWTONIANA: TRANSFORMACIÓN DE LOS ESQUEMAS EXPLORATORIOS Y LAS ESTRUCTURAS MATERIALES DEL MUNDO.

La perspectiva presentada en el apartado anterior nos ha permitido concebir la actividad científica como una actividad que se desarrolla desde el seno de la experiencia intersubjetiva de la comunidad, avanzando hacia la realización de experimentos exploratorios que permiten hallar nuevos consensos sobre las condiciones esenciales de aparición de un fenómeno, y hacia la generación de modelos teóricos que combinan diferentes elementos de la experiencia cotidiana en fusiones conceptuales que apuntan hacia nuevos diseños

experimentales y transformaciones de las estructuras del mundo para hallar nuevas invariancias subyacentes a los fenómenos naturales.

Además, hemos dicho que esta transición de la experiencia cotidiana a nuevos diseños experimentales y nuevas estabilizaciones interactivas e invariancias conduce a la objetivación de nuevos dominios de la experiencia, como es el caso del movimiento de los cuerpos en caída libre. La noción de objetivación también aparecía al final del capítulo dedicado al modelo cognitivo experiencialista, y es importante para el argumento constituyente de este apartado, de modo que consideramos necesarias algunas aclaraciones al respecto que nos permitan tener una definición precisa del mismo.

En el capítulo anterior, decíamos que los aspectos más subjetivos de la experiencia son los que permiten generar aquellos procesos cognitivos más vinculados a la creatividad humana, como por ejemplo las fusiones conceptuales y las proyecciones metafóricas, que dan lugar a esquemas mentales emergentes con los que explorar el mundo, a partir de la combinación de diferentes dominios de la experiencia, relacionados mediante determinadas relaciones de semejanza establecidas por un agente en función de sus propósitos y su experiencia previa. Muchas de estas proyecciones metafóricas y fusiones conceptuales, a pesar de surgir de la experiencia subjetiva de un agente, se consolidan en nuestro lenguaje en expresiones sintácticas compartidas por la comunidad. Por ejemplo, en nuestro lenguaje utilizamos múltiples metáforas para referirnos al tiempo como un recurso material limitado, una sustancia que se puede dividir en partes, un objeto estático en torno al cual nos movemos, o un objeto animado que se aproxima a mayor o menor velocidad, etc.

Podemos decir que alguna de estas proyecciones metafóricas se objetiva cuando las implicaciones de la misma pasan a constituir parte de las prácticas culturales compartidas por todos los miembros de la especie humana, al margen de otras diferencias. Por ejemplo, la metáfora del tiempo como sustancia se ha consolidado en nuestras prácticas culturales, no sólo en el lenguaje, sino también en el uso de instrumentos de medida como el caso del reloj, que nos permiten concebir el tiempo algo que avanza en un segmento de partes iguales que se corresponden con momentos determinados del día. Esta concepción del tiempo, y el uso del reloj, asociado a la misma, están estandarizados y extendidos a lo largo de todo el planeta, de modo que podemos hablar del tiempo como un factor objetivado de la experiencia humana. Otro ejemplo de objetivación es el de la temperatura, mediante modelos teóricos y series experimentales que dieron como resultado la constitución del termómetro tal y como lo conocemos en la actualidad (Chang 2004).

Una vez presentada la dinámica de las prácticas científicas, podemos concluir que es precisamente esta actividad la que permite objetivar nuevos dominios y factores de la experiencia, a partir de objetivaciones previas. A pesar de que mediante la técnica, el lenguaje y la construcción de artefactos los seres humanos somos capaces de estandarizar ciertas prácticas, constituir unidades de medida que nos permitan comparar algunos aspectos de la realidad, o construir artefactos más o menos similares que responden a un mismo diseño o idea, es con la actividad científica con la que la objetivación de la experiencia alcanza su

máxima expresión, tanto en su nivel de precisión como en su alcance y extensión más allá de los límites de una sociedad particular, para extenderse a lo largo y ancho de nuestro planeta.

Veamos el modo en que esta objetivación de la experiencia se extiende de unos dominios a otros a partir de la actividad científica, tal y como ha sido presentada aquí, y las implicaciones epistémicas de este hecho. La geometría condensada en la obra de Euclides puede considerarse el primer episodio de objetivación de la ciencia Occidental. La geometría euclidiana constituía un edificio perfecto de razonamientos geométricos, relacionados exclusivamente con la forma y el número, estableciendo así relaciones invariantes entre longitudes, áreas, ángulos, y todo lo relacionado con los constituyentes formales de un cuerpo y las magnitudes de éstos.

Más allá del sistema del mundo que concibiesen, finito o infinito, geocéntrico o heliocéntrico, la astronomía comenzó a pensarse en términos de la geometría euclidiana, de modo que ésta se convirtió en una herramienta esencial compartida por la comunidad de astrónomos, y para los navegadores y diseñadores de calendarios, que basaban su práctica en las predicciones astronómicas, para explorar los cielos y representarlos. En este sentido, la geometría euclidiana se había convertido en una práctica cultural objetivada, ya que constituía la base sobre la cual construir los esquemas anticipatorios con los que se llevaba a cabo la observación de los astros. La geometría euclidiana no era un complemento al estudio de la astronomía, ni un medio para desarrollar complejos procesos cognitivos posteriores a la propia percepción. Más bien, constituía la propia percepción del astrónomo, formando así parte de su experiencia cotidiana.

Como hemos dicho, la revolución astronómica llevó consigo una nueva propuesta de sistema del mundo, que pasó de situar el Sol en el centro del cosmos a describir las órbitas planetarias como elipses, en vez de círculos. Sin embargo, estos cambios en la concepción del mundo siempre se daban dentro de unas prácticas y unas bases exploratorias compartidas, a saber, la geometría euclidiana y la observación de los cielos mediante instrumentos como el cuadrante, que permitían establecer, con márgenes de error cada vez más reducidos, las posiciones de los planetas en tiempos determinados.

Este doble nivel de análisis, a saber, el de las divergencias en cuanto al verdadero sistema del mundo, y la convergencia en cuanto al uso de prácticas compartidas como bases exploratorias, tiene una consecuencia directa desde el punto de vista epistémico. A un nivel teórico, podemos decir que los aristotélicos, y la voz oficial de la Iglesia, habitaban un mundo distinto al de Copérnico, Galileo o Kepler, lo que muchas veces acarreó problemas para estos últimos, y les dificultó enormemente la tarea de convencer a la sociedad de la validez de sus nuevos hallazgos.

Desde un punto de vista práctico, sin embargo, la experiencia cotidiana y las prácticas exploratorias de estos agentes no era tan distinta. De hecho, era la misma, en la medida en que los nuevos modelos geométricos de Copérnico o Kepler fueron asumidos por los mismos miembros de la Iglesia para diseñar sus calendarios, o para tareas de navegación. Ya que el cuadrante y la geometría euclidiana eran de uso común, y los modelos de Copérnico o Kepler

eran más simples y precisos que los anteriores como herramientas exploratorias, fueron los elegidos como bases con las que percibir los cielos en la vida cotidiana, independientemente del discurso oficial verdadero de la naturaleza del cosmos.

También con el uso de la geometría euclidiana, y con el de artefactos mecánicos utilizados en la práctica diaria, como los planos inclinados, e instrumentos de medida más o menos originales para obtener datos precisos sobre la distancia recorrida en un plano inclinado y el tiempo destinado a ello, Galileo contribuyó a la objetivación de un nuevo dominio de la experiencia, como el de la caída de los graves. Galileo halló una invariancia matemática subyacente a este tipo de movimiento, y puso de manifiesto la independencia del mismo con respecto al movimiento horizontal o inercial del cuerpo, así como de su peso. Esta nueva invariancia subyacente a la actividad científica de Galileo se convirtió en parte de la experiencia cotidiana de la comunidad científica posterior, no sólo por su rigor demostrativo y por la replicabilidad que ofrecían sus diseños experimentales, sino también por el modo en que la concepción de Galileo del movimiento y su representación matemática fueron penetrando en el seno de las prácticas culturales de la comunidad científica y de la sociedad en general.

En primer lugar, la nueva concepción del movimiento de los cuerpos terrestres sirvió para dar con un nuevo esquema anticipatorio con el que captar con precisión los fenómenos relacionados con el movimiento de los proyectiles. Anteriormente, se concebía el movimiento del proyectil como una diagonal ascendente desde el foco de emisión debida al movimiento del aire, o al *impetus* del objeto, hasta que se acababa la fuerza de movimiento y el proyectil caía en línea recta hasta la superficie terrestre. El trabajo de Galileo, y su tesis de la independencia de los componentes vertical y horizontal del movimiento, permitió pensar en el movimiento de los proyectiles como una parábola, compuesta de un movimiento horizontal rectilíneo uniforme cuya velocidad era constante desde el inicio del lanzamiento, y un movimiento perpendicular a la superficie terrestre, de subida y bajada, según el cual el movimiento ascendía hasta quedarse parado, y volvía a descender recorriendo una unidad de distancia igual al cuadrado del tiempo.

El esquema exploratorio de Galileo, derivado de su modelo, permitía comprender muchos de los fenómenos conocidos en relación al movimiento de los proyectiles, como por ejemplo que alcanzaban una longitud máxima en su recorrido cuando eran lanzados a 45 grados de altura (Galileo 1967). Descartes llevó las conclusiones de Galileo más allá de los proyectiles, diseñando un método algebraico, la geometría analítica, que se basaba en un eje de coordenadas de referencia dentro del cual podía representarse cualquier forma geométrica, y expresarse luego numéricamente, según los referentes del eje de coordenadas en el que se ubicaba. Lo interesante es que este eje de coordenadas se dividía en una componente horizontal y otra vertical, que se representaban numéricamente de un modo independiente (Lakoff y Núñez 2000).

Por otro lado, Galileo también llevó sus nuevas invariancias matemáticas al estudio del movimiento de los péndulos, otro de los artefactos que formaban parte de las prácticas culturales cotidianas de la época. Del mismo modo que un plano inclinado, el movimiento del

péndulo podía considerarse como compuesto de un movimiento horizontal y otro vertical, independientes entre sí. El componente vertical se regiría entonces por la ley de la caída de los graves estabilizada por Galileo, y el movimiento horizontal sería inercial. Parece que el mismo Galileo fabricó péndulos de diferentes tipos, con los que realizó diversos experimentos, tomando su pulso como referente para medir el tiempo, y llegando a la conclusión de que un péndulo que cuelgue de una longitud determinada, siempre oscila en la misma medida, con independencia de su peso o de la longitud de la cuerda (Asimov 2000, p. 46). Estas conclusiones eran, en todo caso, compatibles con sus leyes del movimiento, y fueron utilizadas por Hyugens para introducir mejoras en el diseño de los relojes mecánicos, que transformarían la propia actividad científica, y las prácticas sociales en general.

En cuanto a la medición y estandarización del tiempo, la humanidad contaba con prácticas estandarizadas desde antiguo para medir unidades grandes de tiempo, por ejemplo a través de los cambios astronómicos. La marcha sostenida de las estaciones marcaba el año, el cambio constante de las fases de la Luna determinaba el mes y la rotación continua de la Tierra, el día. Para unidades menores de tiempo que el día había que recurrir a métodos de estandarización menos exactos. El reloj mecánico, utilizado a lo largo de la Edad Media, constaba de unas manillas que daban vueltas a la esfera movida por ruedas dentadas, que a su vez eran gobernadas por pesas suspendidas, las cuales hacían girar las ruedas al caer.

El problema de estos relojes es que era difícil regular la caída de las pesas y hacer que las ruedas giraran suave y uniformemente. Estos relojes siempre se adelantaban o atrasaban, y ninguno tenía una precisión superior a una hora. Gracias a las nuevas invariancias establecidas por Galileo, Hyugens pudo asociar este problema de los relojes mecánicos con el movimiento del péndulo, cuya componente vertical es independiente del movimiento horizontal, y, según el esquema exploratorio estabilizado por Galileo, sigue un patrón de aceleración constante. Dicho en otros términos, el péndulo bate a intervalos regulares. Gracias a una fusión conceptual afortunada, Hyugens tuvo la idea de acoplar un péndulo a un reloj para que gobernase sus engranajes, consiguiendo de este modo que éstos adquiriesen un movimiento tan uniforme como el de la oscilación del péndulo. Hyugens inventó el reloj de péndulo sobre la base de las invariancias halladas por Galileo. El reloj de Hyugens se convirtió en el primer cronómetro de precisión para la actividad científica, y la sociedad humana en general, y su uso se extendió por todo el continente, ofreciendo una estandarización de las horas y los minutos mucho más precisa, y contribuyendo así a la objetivación de la experiencia humana.

En último lugar, veremos la influencia que tuvo la obra de Galileo en las investigaciones teóricas y empíricas sobre el choque de cuerpos y la conservación de la cantidad de movimiento. En sus *Diálogos sobre Dos Nuevas Ciencias*, Galileo se plantea en la primera parte el problema de por qué las máquinas grandes se derrumban frecuentemente, destrozándose, a pesar de haberse construido con las mismas proporciones geométricas que otras máquinas más pequeñas, que sí eran duraderas y eficaces (Galileo 1967). Era sabido que las propiedades de las figuras geométricas no dependían de su tamaño, ya que por ejemplo el valor *pi* era el mismo para todos los círculos. Sin embargo, era algo conocido que

los grandes navíos podían colapsar en el dique, mientras que los menores construidos con las mismas proporciones podían botarse con seguridad. Esta falta de correspondencia entre las matemáticas y la experiencia cotidiana podía resolverse, según Galileo, si la cantidad de materia contenida en un cuerpo se considerase como una magnitud matemática, esto es, si la materia se considerase "como si perteneciese a las simples y puras matemáticas" (Galileo, citado en Giucorello 1993).

De este modo, si las dimensiones de una máquina se doblasen, su peso aumentaría ocho veces, mientras que las resistencias individuales de sus partes aumentan en menos proporción, de modo que no pueden soportar el mayor peso. Galileo demostró que el peso que una viga horizontal puede soportar disminuye de hecho en proporción a su longitud, de modo que habría de ser mucho más gruesa a fin de aguantar incluso el mismo peso. Asimismo, un gran edificio requiere pilares para aguantar el peso del tejado, proporcionalmente mucho más gruesos que los de una estructura menor. En resumen, al investigar el efecto de la escala, estudió las cantidades de materia, más adelante denominadas 'masas'.

La consideración de incluir la cantidad de materia entre los factores medibles o magnitudes fundamentales de la investigación física, junto con otros factores más tradicionales de la geometría, por un lado, y las variables cinemáticas estudiadas por Galileo, por el otro, también fue una de las propuestas de Galileo que se consolidaron en la experiencia de la comunidad científica posterior, en parte gracias a que ya existía una estandarización considerable con respecto a las medidas relativas al peso de los cuerpos. En palabras de Descartes, "no sólo la longitud, anchura y profundidad son dimensiones, sino que también hay una dimensión en términos de la cual se estima el peso de los objetos. Así, también la velocidad es una dimensión del movimiento, habiendo un número infinito de casos similares". La ciencia debía ir, pues, más allá de las dimensiones geométricas en su hallazgo de unidades de medida estandarizadas que correspondieran a las propiedades básicas de la materia.

Además, Galileo también había observado que al colocar dos planos inclinados opuestos el uno al otro, y dejar caer una bola por uno de ellos, comenzaba un movimiento continuo que consistía en descender de un plano, seguir en línea recta, ascender por el otro plano hasta un punto en el que detenía su movimiento ascendente y volvía a descender para alcanzar el primer plano y volver a ascender y descender por él, dirigiéndose de nuevo al segundo plano, y así sucesivamente. Al dejar fuera del espacio experimental la influencia del aire y el rozamiento, la bola rodaba indefinidamente siguiendo esta trayectoria, y alcanzando siempre la misma altura en los planos, que era mayor o menor en función de la velocidad de la bola y de su masa.

Una vez más, fue Descartes quien elevaría esta experiencia obtenida con planos inclinados en un entorno experimental a principio de la naturaleza: "Es completamente racional suponer que Dios, al crear la materia, impartió a sus partes diferentes movimientos y mantiene toda la materia del mismo modo y condiciones en que la creó, incluyendo, por tanto, el mantenimiento de la misma cantidad de movimiento" (Descartes, citado en Holton 1981, p. 341).

Esta cantidad de movimiento que se mantiene constante en el Universo según Descartes, fue definida como el producto de la masa por la velocidad.

Este modo de pensar el mundo como un espacio geométrico de masas en movimiento se convirtió en una fuente de inspiración para geómetras y físicos posteriores. La ley de la conservación de la cantidad de movimiento de Descartes no era por sí misma suficiente para establecer unas invariancias matemáticas en relación a la colisión de dos cuerpos. La velocidad no es una magnitud matemática sin más, sino que depende de la dirección y el sentido que lleva un cuerpo. Por otro lado, Descartes añadía supuestos como por ejemplo el de que si un objeto choca contra otro pesado en reposo, el primero debe rebotar sin transferir ningún movimiento al pesado. La actividad científica no debía limitarse a reflexionar sobre la verdad o falsedad de estos modelos inspirados por Galileo y desarrollados por Descartes, sino diseñar un espacio experimental que permitiese llegar a establecer nuevas invariancias matemáticas a partir de las inferencias de este modelo teórico y la utilización de sistemas de medida estandarizados que permitiesen obtener tablas de datos en series experimentales donde se utilizasen objetos de diferentes masas en diferentes direcciones, en superficies con un rozamiento prácticamente nulo, sin inclinación, y aislados de la influencia del aire, con tal de asegurarse de que estos factores no incidirían en los datos obtenidos.

Varios miembros de la Royal Society de Londres, instituida en 1662, como Hooke o Wren, o Christian Hyugens, en Holanda, estaban interesados en estas implicaciones de los experimentos de Galileo y las reflexiones de Descartes. La Royal Society comenzó a enfocar el problema en 1666 con los experimentos de choque demostrados por Hooke; posteriormente, se encomendó a Wren la tarea de preparar un informe de su primer trabajo, y al matemático John Wallis que estudiara los aspectos teóricos del problema. También se le solicitó a Hyugens un informe de sus hallazgos. En este contexto, Hyugens, Wallis y Wren concluyeron, independientemente, que la cantidad total de movimiento de un sistema se conserva.

Esta invariancia cobraba sentido al considerar la velocidad no sólo como una magnitud con valor numérico determinado, sino atendiendo también a su dirección y sentido en un espacio cartesiano. Al conservarse la cantidad de movimiento antes y después de un choque, no sólo se conservaba la suma de las masas de los cuerpos implicados y sus valores escalares de la velocidad, sino que también se conservaba la dirección del vector resultante de las direcciones de los cuerpos implicados, aunque cambiaran las direcciones y sentido de cada uno de los cuerpos.

El hecho de que estos tres investigadores llegaran a conclusiones similares se debe en gran parte a que todos partían de una experiencia en gran medida común, por participar de prácticas culturales y de procedimientos exploratorios que se basaban en las objetivaciones previas en el ámbito de la matemática y de la física. Éstas penetraron en las prácticas de la comunidad posterior mediante ejemplos como los que hemos visto, como la interpretación del movimiento de los proyectiles y de cualquier otro cuerpo en un espacio bidimensional, la mejora de precisión del cronómetro mediante el uso del péndulo, y el hallazgo de la ley de la conservación de la cantidad de movimiento.

Todas estas nuevas prácticas se convertirían, a su vez, en algo que formaría parte del bagaje experiencial básico desde el que trabajaría la nueva generación de científicos, como sería el caso de Newton, quien, apoyándose en estas estabilizaciones interactivas, llevaría la ciencia de la mecánica a su máxima expresión. En efecto, el nuevo fondo experiencial relacionado con la física del movimiento de los cuerpos sería sintetizado por Newton en sus *Principia*. En su obra, Newton también llevaría esta experiencia común más allá de sí misma, a partir de nuevas fusiones conceptuales, estableciendo nuevos principios que se convertirían posteriormente en nuevas bases de la experiencia común de la cultura occidental y, posteriormente, de la humanidad.

Newton comienza en su obra presentando las definiciones básicas a partir de las que se iban a elaborar sus razonamientos. Las nociones de espacio, tiempo y masa serían las definiciones fundamentales, a partir de las cuales se definirían otras derivadas como las de velocidad, aceleración, fuerza y cantidad de movimiento. Newton también diferencia entre movimiento relativo y absoluto. Los cambios de movimiento absolutos son aquellos que resultan de la aplicación de una fuerza al objeto, mientras que los relativos son los que se perciben subjetivamente si los objetos que rodean a un objeto en movimiento también comienzan a moverse. Lo interesante es que para Newton existen un espacio y tiempo absolutos, que transcurren de un modo objetivo, independientemente de la experiencia subjetiva de cada agente en su situación de movimiento, aceleración o reposo. Esta concepción objetiva del espacio y el tiempo era una idealización de la estandarización y objetivación de las medidas del espacio y el tiempo en la experiencia cotidiana, que habían alcanzado un gran nivel de precisión.

A partir de estas definiciones, Newton describe sus tres leyes del movimiento. La primera de ellas consiste básicamente en recuperar la idea del movimiento inercial de Galileo. Sin embargo, para Newton el movimiento inercial de un cuerpo no es, como pensaba Galileo, paralelo a la superficie terrestre, sino que, tal y como se experimentaba en la experiencia de los choques de partículas, los cuerpos se hallan en reposo o se mueven en línea recta y a velocidad constante de un modo indefinido, hasta que una fuerza externa actúa sobre ellos. Los experimentos con los choques de partículas también fueron la base de su segunda ley del movimiento, según la cual la fuerza que actúa sobre un cuerpo es igual a la variación en su cantidad de movimiento a lo largo del tiempo. La cantidad de movimiento se definía, como decíamos, como el producto de la masa por la velocidad. La masa era directamente proporcional a la fuerza, de modo que un cuerpo con mayor masa necesitaba más fuerza para modificar su velocidad, que otro con menor masa. La masa inercial de los cuerpos, que se manifestaba en el choque con otros cuerpos en superficies horizontales, era, según los resultados experimentales, equivalente a la masa medida en una balanza de pesas. Finalmente, toda vez que un cuerpo ejercía una fuerza sobre otro, éste último ejercía una fuerza de igual magnitud y dirección, pero de sentido opuesto, al primero. Las bases experimentales de los choques de partículas sirvieron como base experiencial fundamental para las leyes del movimiento de Newton.

No en vano, Newton termina esta sección de su obra con un escolio, en el que indica no ser el autor de estas leyes, ya que son “principios aceptados por los matemáticos”. Newton menciona a Galileo, por su trabajo con proyectiles y el movimiento parabólico, y a Wren, Wallis y Hyugens, que califica como “los mejores geómetras de nuestro tiempo”, por su trabajo con el impacto de cuerpos. Newton también describe una serie de estos experimentos para mostrar la certeza de sus leyes. A lo largo de su obra, Newton insiste en la importancia de los modelos matemáticos como una parte esencial de la investigación científica, pero siempre trabajando en consonancia con los experimentos, ya que “las cualidades de los cuerpos sólo pueden ser conocidas por los experimentos” (Newton 2010).

A partir de estas leyes, que recogían el sentido común de la comunidad científica de la época interesada en el estudio del movimiento, Newton recupera en su tercer libro el tema de las órbitas planetarias. En primer lugar, cita un conjunto de Fenómenos conocidos empíricamente en relación al movimiento de los planetas y otros datos experimentales relacionados. Por otro lado, presenta su tercer libro partiendo de la validez de las leyes de Kepler, y negando la validez del sistema cartesiano de vórtices, ya que éstos no son compatibles con el movimiento elíptico, y éste había demostrado tener una gran precisión como esquema exploratorio de los cielos, por encima del movimiento circular.

Si las tres leyes del movimiento no sirven más que para hacerse eco de los estabilizaciones interactivas halladas hasta la época mediante la actividad coordinada de la práctica teórica y la experimental, el objetivo final de Newton no sería el de realizar esta síntesis, sino el de extrapolar estas leyes del movimiento derivadas de la experiencia con el movimiento de los cuerpos terrestres al estudio del movimiento de los astros.

En concreto, Newton trabajó sobre los datos obtenidos con respecto al movimiento de la Luna, y con las leyes de Kepler, por ser su sistema el que mejor se ajustaba a los datos astronómicos de Brahe, y el que mejores predicciones permitía obtener con la mayor simplicidad posible. A partir de la experiencia del movimiento de los proyectiles, Newton imagina que se lanzase un proyectil desde una montaña en una dirección horizontal con respecto a la superficie terrestre. Según sus leyes del movimiento, este cuerpo tendería a seguir en línea recta por su movimiento inercial, escapando a la superficie terrestre, y escapando sólo por el espacio. Sin embargo, su movimiento no era éste, sino que el proyectil, siguiendo una trayectoria parabólica, acababa cayendo al suelo. Según la segunda ley del movimiento, la Tierra ejercería una fuerza sobre el cuerpo, que lo llevaría, hacia el centro del planeta, desviándolo así de su movimiento inercial en línea recta.

Cuanto mayores fueran la masa y la velocidad inicial de salida del proyectil, más lejos caerían sobre la superficie terrestre. Por tanto, podía existir un lanzamiento de un proyectil de tal masa y con una velocidad inicial que tendiera a caer hacia el centro de la tierra en un movimiento circular o esférico alrededor del planeta por toda la eternidad, de modo que su movimiento inercial en línea recta y su movimiento hacia el centro de la tierra por su atracción gravitatoria se vieran eternamente compensados. Éste sería, de hecho, el caso de la Luna.

Lo más relevante de todo esto fue la fusión conceptual que Newton llevó a cabo para desarrollar un esquema exploratorio de carácter matemático para interpretar la experiencia del movimiento de la Luna alrededor de la Tierra, o de una cuerda alrededor de un eje de rotación, o de cualquier planeta alrededor del Sol. Newton combinó las leyes del movimiento presentadas en su libro con la geometría del círculo y las elipses desarrollada a partir de la matemática griega y condensada en los *Elementos* de Euclides, para dar lugar a nuevas definiciones del movimiento, relativas al movimiento circular.

Newton nos hacía imaginar el radio como la distancia de un cuerpo en rotación con respecto a su centro de movimiento. Por otro lado, la distancia recorrida por un cuerpo era igual al arco que formaban dos puntos determinados de la órbita de un círculo, formando un ángulo determinado. Lógicamente, un mayor ángulo representaba una mayor distancia recorrida. El tiempo quedaría representado por periodos, siendo cada periodo el tiempo necesario para que un objeto en rotación diese una vuelta completa desde que salía de un punto hasta que llegaba otra vez a él. La velocidad, a su vez, vendría determinada por el ángulo recorrido en un tiempo determinado (velocidad angular), o el arco recorrido en un tiempo determinado (velocidad tangencial). Dicho de otro modo, la velocidad tangencial sería igual al producto de la velocidad angular por el radio, y tendría una dirección perpendicular al mismo en todo momento, ya que representaría la tendencia del cuerpo de salirse de la trayectoria circular para seguir su movimiento inercial en línea recta.

El movimiento circular, por tanto, estaría compuesto por esta velocidad tangencial, con tendencia a salirse del movimiento en rotación, y la fuerza centrípeta, que permitiría que el cuerpo siguiese girando alrededor del foco de movimiento, saliendo constantemente de su movimiento inercial.

Newton define esta fuerza centrípeta como “aquella por la cual los cuerpos son arrastrados o impelidos o, de cualquier otro modo, tienden hacia un punto como centro. De este tipo es la fuerza de la gravedad, por la cual los cuerpos tienden al centro de la Tierra; el magnetismo, por el cual el hierro es atraído hacia el centro del imán y aquella fuerza, sea cual fuere, por la que los planetas son desviados continuamente del movimiento rectilíneo que, de otro modo, seguirían, y les hace recorrer órbitas circulares. Una piedra girando en una honda, tiende a escapar de la mano que la hace girar; y por esta tendencia se tensa la honda, por la acción de una fuerza tanto mayor cuanto mayor sea la velocidad de giro, y tan pronto como puede, sale disparada; aquella fuerza que se opone a aquella tendencia de la piedra a escapar y por la cual la honda continuamente arrastra la piedra hacia la mano y la retiene en su órbita, la llamo fuerza centrípeta. Y lo mismo hay que decir de los cuerpos que giran en órbitas cualesquiera. Todos ellos tienden a escapar del centro de sus órbitas; y si no lo hacen, es por la oposición de una… fuerza que los retiene en sus órbitas, por lo que la llamo centrípeta, pues de otro modo saldrían disparados de un modo en línea recta con movimiento uniforme. Sin una fuerza de este tipo, no podría ser retenida la Luna en su órbita. Si esta fuerza fuese demasiado pequeña, no sería suficiente para desviar a la Luna según su trayectoria circular; si fuese demasiado grande, tiraría demasiado de ella y la sacaría de su órbita atrayéndola hacia la

Tierra. Es necesario, pues, que esta fuerza sea de magnitud bien determinada, y compete a los matemáticos encontrar cuál sea, de modo que sirva exactamente para mantener a un cuerpo en una órbita circular dada y con una determinada velocidad…" (Newton 2010).

En términos matemáticos, la fuerza hacia el centro del movimiento en rotación debía ser igual en cada instante a la inercia del cuerpo a seguir su movimiento inercial. Siguiendo razonamientos matemáticos que partían de la fusión conceptual entre las leyes del movimiento y la geometría euclidiana, junto con las leyes establecidas por Kepler sobre las órbitas planetarias, Newton concluye que "dos partículas materiales experimentan una fuerza de interacción gravitatoria directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente porporcional al cuadrado de la distancia que las separa. La línea de acción de dicha fuerza es la recta que las une" (Newton 2010).

De un modo similar al de Galileo, Newton había desarrollado una fusión conceptual entre diferentes dominios de la experiencia, para hallar una invariancia matemática subyacente al movimiento de los cuerpos, que esta vez abrazaba tanto los movimientos de los cuerpos terrestres como de los astros. La geometría euclidiana, el sistema de las órbitas planetarias de Kepler, y las leyes del movimiento a partir de los experimentos con el impacto de cuerpos eran los dominios de la experiencia sobre los cuales basó sus razonamientos y las fusiones conceptuales que le sirvieron de base.

Alguien podía negarse a creer que los planetas se comportasen del modo en que describía Newton, negando así las implicaciones ontológicas de su razonamiento. Sin embargo, los razonamientos de Newton y la fusión conceptual generada por él se anclaban sobre bases experimentales sólidas, y modelos teóricos y matemáticos que habían demostrado su utilidad como bases exploratorias en la experiencia de la vida cotidiana y en la actividad experimental. Además del problema de asumir que los planetas se regían por las mismas leyes del movimiento que los cuerpos terrestres, la fusión conceptual de Newton tenía otras implicaciones que serían objeto de controversia. Una de ellas era que la fuerza de atracción gravitatoria se transmitía a distancia, sin necesidad de que los cuerpos entrasen en contacto. En segundo lugar, había que considerar que el foco de dicha fuerza se generaba en el punto central de un cuerpo o planeta, considerando que toda la masa de dicho cuerpo se hallaba concentrada en este punto.

Estos problemas en cuanto a las implicaciones ontológicas del sistema newtoniano contrastaban con su éxito implacable cuando se utilizaban las invariancias matemáticas resultantes de sus razonamientos para explorar los movimientos de los cuerpos terrestres y celestes, y se interpretaban y anticipaban las conductas de los mismos. El mismo Newton comparó la aceleración centrípeta de la Luna, obtenida mediante la aplicación de sus expresiones matemáticas, con la aceleración de la gravedad, hallada experimentalmente mediante ensayos con cuerpos de diferente masa en diferentes lugares. Los razonamientos geométricos sobre la trayectoria de la Luna permitían obtener un valor aproximado del tiempo que tardaba en dar una vuelta a la Tierra, y del radio con respecto a la misma, de modo que podía calcularse la aceleración centrípeta del satélite. Newton pudo demostrar, a la luz de los

resultados obtenidos, que las aceleraciones de la gravedad y la Luna estaban en razón inversa al cuadrado de las distancias medidas desde el centro de la Tierra.

Newton trabajó intensamente en utilizar sus nuevos esquemas exploratorios para dar sentido a las perturbaciones lunares. Consideró la influencia en su trayectoria de las fuerzas de atracción gravitatoria de todos los cuerpos celestes, y el uso repetido de la ley de la gravitación universal proporcionó aproximaciones más que notables a cualquier complejidad del movimiento del satélite. Sólo para una de las múltiples variaciones el valor de Newton era la mitad al valor observado. Esto supondría una crisis de la teoría newtoniana, hasta que se aclaró el pequeño error de cálculo (Holton 1981).

Por otro lado, utilizando los esquemas exploratorios derivados de las invariancias establecidas por Newton, Halley fue capaz de predecir con gran exactitud las sucesivas apariciones de un cometa que no se había identificado como tal hasta entonces, lo que se consideró uno de los grandes triunfos del sistema newtoniano. Newton también había predicho que los cuerpos que además de orbitar alrededor de otros cuerpos rotaban sobre sí mismos, deberían tomar una forma achatada. Este hecho se había observado en el caso de Júpiter con el uso del telescopio, que por esta época ya se había afianzado como un instrumento de observación por parte de la comunidad de astrónomos. Además, se pudo comprobar, mediante medidas más precisas del diámetro de la Tierra, que éste era menor de polo a polo que desde el plano ecuatorial.

Por último, el fenómeno de las mareas, que había sido tan importante como enigmático para navegantes, mercaderes y exploradores. Utilizando sus invariancias matemáticas, Newton explicó que era la Luna y, en menor medida, otros astros, los que atraían la parte más próxima del océano y tendían a elevar las aguas. El Sol es responsable de un efecto similar, y como Sol, Tierra y Luna se alinean dos veces al mes, las dos fuerzas de las mareas coinciden para producir situaciones extremas semimensuales, o cancelarse mutuamente entre las mareas de primavera.

Posteriormente al propio Newton, sus leyes del movimiento y de la gravitación universal fueron fundamentales para el descubrimiento de nuevos planetas y para la caracterización de sus órbitas, como son el caso de Urano, Neptuno o Plutón.

Los esquemas derivados de las leyes de Newton mostraron tener un elevado éxito a la hora de dar cuenta de muchos de los fenómenos que formaban parte de la experiencia común de la época, y de nuevos fenómenos posteriores, hallados mediante instrumentos de observación independientes a las propias leyes de Newton.

El éxito de los esquemas newtonianos para guiar la exploración planetaria sobre unos principios y leyes que regían el movimiento de los cuerpos tanto en el cielo como en la tierra haría que su sistema se aceptase gradualmente como una de las bases experienciales sobre las que trabajaría la comunidad científica desde entonces. Además, el sistema newtoniano no sólo modificó los esquemas exploratorios de la comunidad científica en su experiencia cotidiana, sino que también llevó consigo la transformación de las propias estructuras del mundo. En 1784, George Atwood diseñó una máquina como experimento exploratorio para

verificar las leyes de la mecánica, que se convertiría en una máquina de uso común en las escuelas, y contribuiría de este modo al asentamiento de la mecánica newtoniana como parte de la experiencia cotidiana. Otro experimento, diseñado por Cavendish, orientado a otorgar un valor preciso a la constante de proporcionalidad (G) que formaba parte de la ley de Gravitación Universal, también sería fundamental para que esta constante pasase a considerarse como una constante universal de la naturaleza. Newton argumentaba que G debía ser constante, mediante series experimentales que demostraban, con el uso de péndulos de diferentes longitudes, que sus periodos eran inversamente proporcionales a la raíz cuadrada de la aceleración gravitatoria, independientemente del color, textura, forma o composición química. Como ésta era proporcional a G, G debía ser constante.

Cavendish utilizó balanzas de resorte con dos masas. Con el uso de instrumentos muy precisos, pudo medir la fuerza de atracción entre dos masas determinadas en función de la desviación que sufrían las balanzas con respecto al punto inicial. Tras largas series experimentales, pudo hallar valores cada vez más precisos para la constante G, lo que llevaría, con el uso de las expresiones matemáticas de Newton, hacia la posibilidad de calcular las masas de los planetas en función de sus movimientos orbitales y los esquemas desarrollados por Newton.

Más allá de los experimentos diseñados para perfeccionar los valores obtenidos por Newton, o para verificar de un modo sencillo sus leyes del movimiento mecánico, la obra de Newton penetró en las prácticas cotidianas de la sociedad. Cada vez era más difícil argumentar, como se hiciera contra Galileo, que los esquemas exploratorios emergentes de la fusión conceptual entre diferentes dominios de la experiencia y la práctica cultural de la matemática no podían dar cuenta de los movimientos naturales, ya que los primeros se basaban en un espacio imaginario como el de la geometría, y los segundos en movimientos irregulares y cambiantes, que difícilmente seguían formas precisas. Cada vez más, el desarrollo de la tecnología y la industria favorecía que los aparatos tecnológicos se construyesen de modos más precisos y exactos, mediante procesos mecánicos que garantizaban la reproducibilidad de los procesos industriales, y la igualdad de las diferentes máquinas. En general, las piezas individuales de una máquina constaban de metal conformado con diversas formas geométricas particulares o combinaciones de ellas: círculos, cilindros, rectángulos, etc. La transformación conjunta de los esquemas exploratorios y de las estructuras materiales del mundo hacia una geometrización y cuantificación crecientes garantizaba cada vez más el éxito de los esquemas exploratorios emergentes de la actividad científica, lo que permitió que éstos se convirtieran de un modo incontestable en las bases experienciales de la comunidad científica y el desarrollo tecnológico. El despegue de los primeros cohetes en el siglo XX fue posible gracias a las inferencias basadas en los esquemas exploratorios del sistema newtoniano, tanto como la construcción de una sencilla máquina como la máquina de Atwood.

Desde un punto de vista metafísico, muchos, entre ellos el mismo Newton, no estaban satisfechos con las implicaciones del modelo newtoniano, como la existencia de fuerzas que se transmitían a distancia. Las controversias fueron muchas, y muchas también las hipótesis de

entes materiales o inmateriales, o fluidos sutiles o etéreos que pudieran constituir las causas físicas de estas fuerzas de atracción gravitatoria. Sin embargo, Newton tenía claro, como posteriormente sucedería con el resto de sus contemporáneos, que sus leyes debían ser aceptadas, en primer lugar porque se anclaban sólidamente sobre la base de la experiencia y el sentido común de los científicos expertos de la época, y en segundo lugar porque habían permitido interpretar esta experiencia de un modo integrado y, sobre todo, ampliarla hacia nuevos horizontes, gracias a la concordancia entre las inferencias derivadas de su modelo teórico y la estabilización de datos y fenómenos a través de series experimentales e instrumentos estandarizados de observación y medida.

Éstas, y no otras, eran las credenciales del sistema newtoniano, que situaba a la comunidad científica en un horizonte de sentido común, basado en experiencias, esquemas exploratorios y prácticas comunes, a pesar de que siguieran existiendo entre ellos divergencias relacionadas con las causas explicativas del éxito de estos esquemas y las implicaciones ontológicas de los mismos.

Los ejemplos analizados en el campo de la mecánica ponen de manifiesto el modo en que la ciencia se nutre de la dinámica entre experiencia y teoría. Por un lado, los conocimientos técnicos de Galileo y su experimentación con péndulos o flechas fueron un elemento fundamental de sus investigaciones. Del mismo modo, Galileo visualizaba líneas rectas, círculos y parábolas como esquemas exploratorios de sus investigaciones. La cooperación entre los modelos teóricos y la exploración sistemática del entorno darían lugar a nuevas inferencias e hipótesis que requerían de diseños experimentales que implicaban la transformación de las estructuras materiales del mundo, y el diseño de instrumentos para aumentar la precisión de medida de los factores de interés.

El resultado de esta dinámica bidireccional sería la realización de nuevas series experimentales que llevaron consigo nuevas invariancias y estabilizaciones interactivas en relación al movimiento de los cuerpos terrestres. Estas regularidades establecidas por Galileo serían unas de las bases experienciales de la generación siguiente de científicos. Newton aprovecharía las invariancias halladas por Galileo, junto con otras halladas en el ámbito de los choques de los cuerpos para generar nuevas proyecciones metafóricas e integraciones conceptuales entre el movimiento de los cuerpos y la matemática (por ejemplo, al imaginar el movimiento de la Luna como un proyectil que nunca alcanza un punto de aterrizaje, o la matematización del movimiento circular a la luz de la integración conceptual entre la objetivación del movimiento realizada por los científicos anteriores y las bases de la geometría euclidiana). Así, la dinámica de las prácticas científicas avanza en espiral, mediante la complementariedad y cooperación de los modelos teóricos y la experimentación. No obstante, esta dinámica no implica que la frontera entre teoría y experimentación quede totalmente desdibujada. De hecho, a continuación veremos que ambos aspectos de la ciencia guardan una autonomía relativa, y que la experimentación guarda una primacía con respecto a la teoría.

5. *MÁS ALLÁ DE LA MECÁNICA: DINÁMICA ENTRE TEORÍA Y EXPERIMENTACIÓN EN ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO*

Los ejemplos que hemos analizado nos han permitido ver la relación dinámica entre experimentación y teoría. Dentro de esta dinámica, los modelos teóricos surgen de una experiencia y un conjunto de prácticas compartidas, y dan lugar al desarrollo de nuevos diseños experimentales derivados parcialmente de las inferencias de dichos modelos. Los aspectos que debemos considerar como relevantes y significativos para la práctica científica son, pues, aquellos que se asientan de un modo sólido en prácticas compartidas, y que desembocan en diseños experimentales cuyos resultados también se anclan en instrumentos, artefactos y procedimientos que pueden replicarse obteniendo resultados similares. Es precisamente el aspecto matemático de estos modelos el que permite generar inferencias a partir de fusiones conceptuales con una base experiencial sólida, y lleva hacia el diseño de experimentos que ofrecen resultados sólidos.

Los modelos teóricos son un producto de la imaginación humana, y por tanto utilizan proyecciones metafóricas y fusiones conceptuales que permiten dar sentido a los fenómenos a los que accedemos mediante nuestra interacción cotidiana y el uso de artefactos. Sin embargo, la ciencia atiende, fundamentalmente, a aquellos aspectos de los modelos que guían la actividad exploratoria del científico, con preguntas relacionadas con el modo en que afectará si cambiamos alguna propiedad numérica de los objetos (masa, densidad, presión, etc.), o alguna propiedad geométrica de las relaciones entre objetos en el espacio (ángulos, distancias, movimientos rectilíneos o curvos, etc.) que cambian a lo largo del tiempo. Es este aspecto de los modelos teóricos el que guía la realización de diseños experimentales y el que sedimenta en el hallazgo de invariancias que se convierten en nuevos esquemas que se convierten en base para la experiencia de las nuevas generaciones.

Hemos visto el modo en que la mecánica se construye desde esta relación entre la experiencia corporal, cultural y lingüística, la experimentación y los modelos teóricos que interpretan esta experiencia mediante modelos geométricos y la postulación de propiedades medibles inherentes a la naturaleza, y guían el diseño de nuevos experimentos sobre la base de estos modelos geométricos y propiedades numéricas, dejando en un segundo plano otro tipo de consideraciones que permiten dotar de sentido y significación los modelos teóricos (como la postulación de la acción a distancia), pero que no son esenciales dentro de la relación entre los aspectos geométricos y numéricos y la experimentación, la cual constituye el verdadero motor de la actividad científica. En este nivel de la práctica científica, podemos apreciar que la ciencia asienta nuevas prácticas y esquemas exploratorios compartidos, que sientan las bases comunes de la experiencia de la comunidad científica, dentro de la cual las diferencias en cuanto a determinadas propiedades metafísicas de los modelos teóricos son más bien un corolario para dar sentido a los mismos, ajustándolos a procesos cognitivos basados en la experiencia, y dando así sentido a las representaciones matemáticas. Sólo posteriormente, y siempre en la medida en que se convertirían en factores relevantes para

guiar la actividad experimental, se comenzarían a tener en cuenta interpretaciones físicas de las representaciones geométricas.

Para ver esto con mayor claridad, utilizaremos el ejemplo del electromagnetismo. La investigación de los fenómenos eléctricos y magnéticos se remontan a la Antigüedad, y se vieron intensificados por Gilbert en el Renacimiento, y sobre todo a lo largo del siglo XVIII. En un inicio, había algunas metáforas que permitían entender la electricidad de otros fenómenos más próximos a nuestra experiencia perceptiva y nuestras interacciones cotidianas, como el de pensar en la electricidad como un fluido. Sin embargo, la investigación de la electricidad se llevó a cabo basándose fundamentalmente en una actividad experimental baconiana, en la que se variaban sistemáticamente algunos factores experimentales para responder algunas preguntas relacionadas con estos fenómenos. Las preguntas no eran, en su mayoría, producto de modelos teóricos específicos, sino que surgían del propio uso cotidiano del lenguaje, que permite plantear preguntas que llevan la imaginación desde la experiencia hacia posibles situaciones hipotéticas, que deben satisfacerse mediante la nuevas experiencias controladas experimentalmente para responder a las preguntas planteadas. En este sentido, puede decirse que la experimentación exploratoria en torno a la electricidad fue, en su mayoría, independiente con respecto a la teoría.

5.1. AUTONOMÍA RELATIVA DE LA EXPERIMENTACIÓN Y CARGA EXPERIMENTAL DE LA TEORÍA

Ya hemos puesto algunos ejemplos como los de Dufay, Gilbert o Galvani en el apartado dedicado a la actividad experimental en ciencia. A continuación detallaremos de un modo más sistemático los principales hitos de la actividad experimental de esta época en el campo de la electricidad, y las preguntas a las que intentaban responder. Algunas propiedades de la electricidad eran conocidas desde la antigüedad, como por ejemplo el extraño comportamiento de un pez torpedo (anguila eléctrica), los fuegos de San Telmo formados en las tormentas que aparecen como llamas, la chispa que se desprende de algunos materiales empleados, y el extraño efecto del ámbar de atraer hacia sí objetos pequeños en su vecindad, o de la piedra imán, capaz de atraer limaduras de hierro.

En el Renacimiento, Cardano fue el primero en distinguir con claridad entre el comportamiento del ámbar y la piedra imán. Mientras que el ámbar atrae objetos en cualquier dirección, las limaduras de hierro sólo son atraídas en ciertas direcciones por el imán. Por otro lado, el ámbar era capaz de atraer muchos cuerpos livianos, mientras que la piedra imán sólo lo hacía sobre cuerpos livianos de hierro. Posteriormente, se variarían las condiciones experimentales, utilizando plumas, semillas o hilos metálicos como detectores de electricidad. Estudiando más a fondo con muchos tipos de materiales, Gilbert, que llevó los estudios de Cardano al público en su “De Magnete”, sostenía que “No es únicamente el ámbar, como ellos suponen, el que atrae cuerpos pequeños, sino también el diamante, el Zafiro… el ópalo, la amatista, berilio y cristal de roca. Estas sustancias atraen todas las cosas, y no sólo plumas de ave y pequeños trozos, sino también los metales, madera, piedra, tierra, y también agua y

aceite, y todo lo que está sujeto a nuestros sentidos y es sólido" (Gilbert, citado en García Arteaga 2011).

A la luz de la experimentación de la época, podía concluirse que la clave era la de frotar los cuerpos para electrificarlos, y no tanto el tipo de material, lo que era esencial para obtener este tipo de atracciones. Una vez más, esto no era requerido en el caso de la piedra imán. Gilbert tuvo dificultades para electrificar los metales por frotamiento, así que estableció una distinción entre materiales eléctricos y no eléctricos, según si era posible electrificarlos o no por frotamiento. Gilbert también halló experimentalmente que cada material tenía una fuerza de atracción distinta, independientemente de la fuerza con que se frotase, y que el calor no mejoraba la fuerza de atracción eléctrica, sino que la hacía desaparecer.

La actividad experimental de Gilbert estuvo guiada por preguntas relacionadas con la electrificación de los materiales y los diferentes grados de intensidad en la atracción. Por ejemplo, Gilbert intentó hallar las condiciones esenciales para obtener electrificación, y las condiciones que variaban la intensidad de la misma. Por otro lado, Gilbert también se vio en la necesidad de ofrecer una metáfora con la que explicar o interpretar este extraño comportamiento de atracción que experimentaban los cuerpos cuando se hallaban cerca de un material electrificado. Gilbert compara la electricidad a un fluido sutil:
"la electricidad es una propiedad universal de la materia" "mediante el frotamiento se libera la sustancia electrizada o "efluvio" que es como una materia sutil que entra en contacto con los cuerpos ligeros en las proximidades del objeto electrizado haciendo que los cuerpos se junten" (Gilbert, citado en García Arteaga 2011).

Sin embargo, la actividad experimental de Gilbert estuvo guiada por preguntas que partían de la experiencia acumulada, más que por inferencias de su modelo teórico, que no adquirió un gran nivel de desarrollo, ni podía dar cuenta, por ejemplo, de la distinción entre materiales eléctricos y no eléctricos del propio Gilbert. Tampoco podía este modelo solventar el problema de la detección de la electricidad cuando ésta era muy débil. ¿Cómo detectar los efectos de estas fuerzas débiles? Un problema notorio lo tuvo con los metales, los cuales se apreciaba que no atraían cuerpos livianos en su vecindad después de ser frotados. O bien no se dejaban electrificar o su electrificación era muy débil para ser detectada.

Esta pregunta llevó a Gilbert a diseñar un instrumento que tuviera la mayor sensibilidad posible. Gilbert conocía la práctica de la navegación, y por tanto sabía que la brújula era un instrumento que apuntaba siempre al polo norte magnético. Mediante un razonamiento analógico, construyó un instrumento con sensibilidad a la rotación denominado "Versorium", consistente en una aguja montada sobre un soporte fijo, con libertad de movimiento sobre su eje. La sensibilidad del instrumento está en que el soporte termina en punta y por tanto la aguja puede fácilmente salir de su posición de equilibrio. Con el uso de este instrumento, realizó series experimentales sobre el comportamiento de muchos materiales al ser frotados, llegando a concluir que los metales no son eléctricos, por no evidenciar fuerza de acción sobre el "Versorium". La actividad de Gilbert, basada en la experiencia acumulada y en el diseño de un instrumento basado en una analogía con otro instrumento cuyo uso estaba consolidado en la

navegación, fueron la base de su distinción entre material eléctrico y no eléctrico, a pesar de que su metáfora de la electricidad como efluvio le llevaba a afirmar que la electricidad se hallaba presente en toda la materia de la naturaleza. Por tanto, se puede hablar de una carga experimental independiente de la teoría subyacente a la clasificación de Gilbert. Sólo la creación de nuevos detectores más sensibles llevaría a la conclusión de que los metales sí podían electrificarse por frotamiento, aunque presentaran una fuerza de atracción mucho más débil que otros materiales. Por ejemplo, Hauksbee utilizó hilos metálicos suspendidos con capacidad de moverse a uno y otro lado, y Gray se valió de plumas como detectores de la comunicación de la electrificación, utilizándolas para estudiar la electrificación por contacto entre objetos hallados a grandes distancias. Faraday y Maxwell utilizaron posteriormente algunos de estos instrumentos en sus experimentos, debido a que su sensibilidad estaba más que contrastada por los experimentos realizados con ellos.

Otra pregunta de carácter técnico y experimental también llevó a conclusiones que iban por caminos distintos a la teoría del efluvio. La pregunta era la de cómo mantener la electrificación por más tiempo, ya que ésta desaparecía poco después de frotar. Para responder a esta cuestión, Hauksbee construyó una máquina electrostática basada en el principio de rotación, según el cual sería el objeto el que giraría, y no la mano, como en el caso de la frotación. Mediante una polea que se acopla a un globo de vidrio, soportado entre dos bases y con libertad de movimiento, se producía movimiento de rotación; luego, poniendo las manos sobre el globo obtenía electrificación. Es la forma contraria de obtener electricidad con respecto al procedimiento de frotación de Gilbert.

Según la teoría del efluvio, el globo debería arrastrar el efluvio al girar, pero esto no sucedía en la situación experimental. Hauksbee colgó hilos alrededor del globo giratorio, esperando que con la rotación, los hilos se orientaran en la dirección del movimiento, pero lo que sucedía era que “los hilos en vez de ser zarandeados por el efluvio, se mantenían rígidos apuntando hacia el centro del globo” (Hauksbee, citado en García Arteaga 2011). Lo relevante del modelo del efluvio en este caso, como en los ejemplos de mecánica, era el modo en que éste guiaría la experiencia humana, generando inferencias en relación a la orientación espacial de los hilos, y no otras consideraciones relativas a la verdadera constitución del universo. Al margen de esta relación entre el experimento y el modelo del efluvio, el aparato de Hauksbee permitió asentar una nueva práctica relacionada con los fenómenos eléctricos, como era la electrificación por rotación, cuyo principio sigue siendo el mismo en la actualidad, a pesar de los perfeccionamientos.

Nuevas series experimentales traerían consigo, a veces de un modo casual, nuevos modos de generar electricidad, que se estudiarían posteriormente de un modo sistemático. Las técnicas de diseño de los globos de cristal se fueron ampliando y transformando de modos diversos. Gray, un experimentalista colaborador de la Royal Society, utilizó una máquina eléctrica como la de Hauksbee, solamente que en vez de esferas de cristal utilizó tubos de vidrio, y, utilizando una pluma como detector, encontró que la electricidad se comunica tanto a cuerpos que son del mismo material como a materiales diferentes. El proceder de Gray era el

de taponar la boca del tubo con corcho, para evitar que entrara polvo en su interior y ello afectara la fuerza de electrificación del vidrio. Al acercar la pluma, Gray observó que ésta era atraída no solamente por el vidrio, sino también por el corcho.

Este hallazgo accidental implicaba que debía existir un nuevo aspecto de la electrificación que no había sido evidenciado hasta el momento, a saber: la electrificación no reside solamente en la región del material que ha sido frotada, sino que también se comunica de algún modo a las regiones vecinas que se encuentran en contacto, en cuanto ellas también exhiben el poder de atraer. Es la primera experiencia de la que se tiene noticia de dos materiales en contacto. En principio, la función del tapón era impedir la entrada de polvo al interior del tubo de vidrio, pero acabaría convirtiéndose en un nuevo foco de electrificación.

Este descubrimiento llevó a Gray a realizar series de experimentos con materiales diferentes al corcho para examinar su comportamiento. Utilizando palos, hilos, metales, marfil, seda, etc., Gray encontró que la calidad de la comunicación eléctrica según el tipo de materiales puestos en contacto. Uno de los hechos más sorprendentes fue que la comunicación eléctrica no dependía de la distancia, sino solamente del tipo de material, lo que implicaba que un material que generase una mayor fuerza de comunicación eléctrica que otro lo haría aunque estuviera más lejos. Este tipo de fenómenos, y sus posibles respuestas, quedaban fuera del alcance de las implicaciones del modelo del efluvio.

La carga experimental acumulada transformaría el modelo del efluvio en la metáfora del fluido eléctrico. Del efluvio como atmósfera eléctrica, se pasó al fluido eléctrico, como un tipo de sustancia. Muchos experimentos, esta vez sí guiados por el modelo del fluido, estuvieron destinados a averiguar si tenía peso. Para Gray, el fluido eléctrico debía propagarse siguiendo una trayectoria determinada.

Más allá de estas implicaciones, la actividad experimental seguiría aportando la estabilización de nuevos efectos. Gray halló que al acercar un cuerpo electrificado a otro, el segundo cuerpo también exhibía electrificación. Si se aleja el cuerpo electrificado, la electrificación comunicada al otro cuerpo disminuía hasta desaparecer. Esta nueva forma de electrificar solamente era posible en el caso de los metales, y sí dependía de la distancia. Parecía existir un problema para explicar esta electrificación sin contacto mediante la metáfora del fluido. Sin embargo, el fenómeno, producido experimentalmente, no dejaba lugar a dudas a los miembros de la comunidad científica de que un nuevo aspecto de la electrificación se había puesto sobre la mesa.

A parte de estas nuevas técnicas de electrificación, otra serie de experimentos, como los de Dufay, que ya se han comentado anteriormente, permitieron establecer la distinción entre dos tipos de cargas eléctricas, atractiva y repulsiva, ligadas a determinadas relaciones entre materiales. Otro de los autores que distinguiría con nitidez dos tipos de comportamiento en los fenómenos eléctricos sería Franklin, pero desde otra perspectiva distinta. Franklin utilizó botellas de Leyden para almacenar electricidad en sus experimentos. Esto había sido posible gracias al invento realizado por Mussenbroek.

Fue este investigador quien diseñó un experimento que se convertiría en el primer acumulador de electricidad. El procedimiento fue el de recoger electricidad de un globo giratorio en un tubo de hierro suspendido en el techo con seda. Del extremo del tubo colgaba un alambre de latón que conducía la electricidad a un matraz que contenía agua. Con la mano derecha sostenía el matraz y con la mano izquierda intentaba conseguir una chispa, acercándola al tubo de hierro. Mussenbroek declaró que su mano fue sacudida con tal fuerza que todo su cuerpo tembló como alguien alcanzado por un rayo.

Cabe destacar que la intención no era, en principio, acumular la electricidad sino observar la comunicación de ésta, del hierro al agua y a la mano, produciendo una pequeña chispa, pero la sorpresa es que al producirse una descarga violenta entonces había más electricidad de la que en principio se creía. La botella de Leyden se convirtió de este modo en el primer condensador eléctrico y el más común.

Franklin realizó series experimentales mediante este instrumento para conocer con mayor profundidad este fenómeno de la naturaleza. Gracias al desarrollo de máquinas electrostáticas de suficiente potencia, pudo almacenar grandes cantidades de electricidad en la botella de Leyden. En uno de sus experimentos, forró la parte inferior de la botella, conectándole en su parte inferior un cable que va hasta la parte superior de la misma. A continuación, colocó la botella sobre cera para evitar que se descargase. Franklin colocó un corcho suspendido por un hilo de seda, observando que éste oscilaba, cesando el movimiento en el momento en que la botella no se encuentra electrizada.

En otro experimento colocó cerca de la botella electrizada un cable doblado en forma de C y sostenida por un soporte de lacre (aislante), de tres formas diferentes. En primer lugar, puso en contacto un extremo del cable C con el fondo de la botella y con el otro extremo se aproximó gradualmente al cable de la botella y se observan una serie de chispas sucesivas hasta que se restablece el equilibrio. En segundo lugar, puso en contacto un extremo del cable C con el cable de la botella y con el otro extremo se aproxima al fondo de la botella y se observa una “corriente de fuego” que desde el cable penetra la botella. En tercer y último lugar, con el cable C de la botella y el fondo de la misma al mismo tiempo, lo que observó es que el equilibrio se restablece rápidamente de forma silenciosa e imperceptible.

Al observar que entre el cable de la botella y el extremo del cable C hay sucesivas chispas eléctricas y como consecuencia de ello la botella se descarga, entonces podemos decir que el cable C al estar en contacto con la parte inferior de la botella adquiere electrificación negativa, a diferencia del cable de la botella. Por tanto, si se acerca gradualmente el otro extremo del cable C a la parte del cable de la botella, se encuentra que estos dos tienen diferente condición eléctrica (más y menos) de manera que la electrificación entre ellos se anula en gran parte, como consecuencia de la chispa, descargándose de esta forma lentamente y por completo de la botella.

Por otro lado, al poner en contacto el extremo del cable C con el cable de la botella, y el otro extremo se aproxima a la parte inferior de ella, observamos que la botella se mantiene cargada, entonces podemos decir que el cable C contiene electrificación positiva comunicada

al cable de la botella. Al ir acercando gradualmente el cable C hacia la parte inferior de la botella, se presenta el flujo eléctrico como resultado de dos condiciones eléctricas diferentes, positivo el del cable y negativo el de la botella. Por eso la botella no se descargaba.

En último lugar, cuando se conectaba al mismo tiempo el cable C, con el cable de la botella y la parte inferior de la misma, lo que se aprecia es que la botella se descarga, sin que se observe chispa. Recogiendo las dos interpretaciones anteriores Franklin concluyó que en el cable C se presenta una tensión eléctrica, tanto por el cable de la botella como por su parte inferior, y como resultado se anula la electrificación en el cable C y por ende la botella se descarga recuperando su estado original o de equilibrio.

Las series experimentales de Franklin le llevaron a la conclusión, sólidamente establecida, de que la electrificación se conservaba, esto es, que el equilibrio eléctrico consiste en la presencia de electricidad que no se manifiesta, sino que ésta solamente se hace presente en la interacción eléctrica. Su modelo del más y del menos le permitió interpretar que la causa era un mismo fluido cuya cantidad aumentaba o disminuía al interior de la botella.

Franklin describe estas ideas del siguiente modo: “Es imposible restaurar el equilibrio en esta botella mediante una comunicación interior, conectando sus partes. Puede hacerse realizando una comunicación sin pasar por la botella, entre la parte superior y el fondo por medio de un no-eléctrico. En este caso, el equilibrio se restaura con violencia y rapidez inexpresable, mientras que si se hace con pequeños toques se restablece lentamente” (Franklin, citado en García Arteaga 2011, p. 163). A pesar de que Franklin concebía la electricidad positiva y negativa como exceso o defecto de un mismo fluido, y Dufay hablaba de cargas vítreas y resinosas como dos tipos de cargas esencialmente diferentes, ambos se referían a un fenómeno experimental similar, basado en los comportamientos de atracción y repulsión de determinados materiales en interacción con otros, dentro del espacio experimental.

Franklin también estudió experimentalmente la relación entre las chispas eléctricas y los rayos. Con la voluntad de entender la posible conexión entre la electricidad y los rayos, Franklin utilizó una cometa, compuesta de dos varillas y un pañuelo de seda, atando una llave de metal a la cuerda de la misma, de la que colgaban hilos sueltos. Al impactar el rayo, se produjeron chispas eléctricas que, desafortunadamente para el investigador americano, pasaron la corriente a sus nudillos, y al resto de su cuerpo. La buena noticia es que Franklin había podido experimentar que los rayos producían chispas eléctricas, tales como las que él generaba en su laboratorio doméstico.

Más adelante, Franklin recogió la carga de una nube de tormenta en una botella de Leyden, mostrando que poseía efectos similares a los de la carga producida por una máquina eléctrica. Ambos eran prácticamente instantáneos, y producían una luz y un ruido similares. Ambos eran capaces de prender fuego a los cuerpos y de fundir los metales; ambos fluían por los conductores, especialmente los metales, y se concentraban en las puntas; también eran capaces de destruir el magnetismo o de invertir la polaridad de un imán, pudiendo ambos matar a criaturas vivas. Franklin partía así de algunas semejanzas entre los rayos y las chispas, que había podido hallar gracias a su familiaridad con las chispas eléctricas, y, mediante series

experimentales y análisis sistemáticos, pudo explicitar muchas de las propiedades comunes de estos fenómenos de un modo contrastado. Una vez más mediante la metáfora del fluido, Franklin especuló que la luz también debía ser un fluido, como la electricidad.

La actividad experimental permitiría aún estabilizar otro aspecto de la electricidad. Alessandro Volta era un conocedor de los metales y sus propiedades, y dedicó gran parte de su vida a experimentar con ellos. Volta diseñó un aparato relacionado con la electricidad, que denominó electróforo perpetuo, y que le concedió gran popularidad en Europa e incluso en el Nuevo Continente. Con dos discos metálicos separados por un conductor húmedo, unidos por un circuito exterior, consiguió por primera vez producir corriente eléctrica continua. Este dispositivo podía transferir electricidad a otros objetos una vez cargados, y generar electricidad estática.

Más tarde, trabajando en el estudio de los efectos de la electricidad sobre las criaturas vivas, especialmente el choque eléctrico, y también en los fenómenos eléctricos exhibidos por los organismos como el pez torpedo, Galvani halló que las preparaciones de músculo y nervio de una pata de rana se contraían cuando se ponían en contacto con dos metales de distinto tipo. Galvani interpretó que se trataba de un fenómeno biológico de carácter eléctrico, siendo la pata de rana la que producía como lo hacía el pez torpedo.

Galvani envió una carta a Volta que le despertó un notable interés, de modo que se pondría a trabajar en estos temas. La pregunta de Volta fue la relacionada con cuál era exactamente el desencadenante del fenómeno eléctrico hallado por Galvani. Volta pensó que la interpretación de Galvani era una posibilidad, pero que podía haber otras posibles, como por ejemplo que se tratase de un fenómeno físico de carácter eléctrico, siendo la pata de rana un mero detector de la electricidad producida por la unión de dos metales distintos. Volta experimentó con varios pares de metales distintos y halló que algunas combinaciones eran más efectivas que otras, lo que parecía apoyar su hipótesis alternativa. En sus experimentos, encontró que una serie de uniones de metales podía producir efectos eléctricos comparables a los mostrados por la máquina eléctrica de fricción especialmente si las uniones alternas se humedecían con ácido. Más adelante, también descubrió que dos metales distintos inmersos en ácido suministraban una considerable corriente eléctrica cuando se conectaban mediante un circuito externo. Es decir, Volta fue capaz de producir electricidad por la acción química de un metal disolviéndose en ácido.

Los experimentos mencionados hasta ahora, junto con muchos otros, permitieron a la comunidad de electricistas (así se conocía a la comunidad científica dedicada al estudio de la electricidad) establecer diferentes modos de electrificar cuerpos, y diferentes efectos que se relacionaban de un modo sistemático con algunos de estos tipos de electricidad. En este contexto, Faraday asumió el reto de hallar la base común de los diferentes tipos de electricidad, que para muchos eran diferentes, y no tenían una identidad común. Faraday, por el contrario, sospechaba que debía existir una unidad o identidad subyacente a este tipo de fenómenos eléctricos.

Los tipos de electricidad que se conocían en la época eran la electricidad producida por fricción, la voltaica, producida por acción química, la magnética, o producida por generadores electromagnéticos (de la que hablaremos más adelante), la térmica, producida por calentamiento del punto de contacto de metales distintos, y animal, producida por ejemplo por las anguilas eléctricas. Los efectos que producía la electricidad, en cualquiera de sus diferentes manifestaciones, eran la evolución de calor, la producción de magnetismo, la descomposición química, ciertos efectos fisiológicos, y la capacidad de producir chispas. Faraday llevó a cabo una serie experimental en la que variaba sistemáticamente las condiciones con el objetivo de mostrar que cualquiera de este tipo de electricidades podía producir cualquiera de estos efectos, bajo el supuesto de que si los diferentes tipos de electricidad producían los mismos efectos, sería porque habría una identidad común subyacente.

Para realizar estos experimentos, Faraday diseñó instrumentos de detección eléctrica más sensibles que el galvanómetro, utilizado generalmente en la época. Faraday conocía que se había demostrado experimentalmente que las corrientes eléctricas, aún siendo muy débiles, pueden descomponer sustancias compuestas disueltas en agua. Faraday seleccionó un compuesto tal que uno de sus constituyentes se hiciera visible al ser liberado, con el que construyó un detector muy sensible.

Faraday también había demostrado anteriormente que las corrientes también pueden fluir a través de espacios huecos ocupados por aire. El aparato para detectar si la electricidad voltaica podía fluir en forma de corriente consistía en una batería, fuente de electricidad voltaica, conectada a un circuito que se interrumpía en un pequeño espacio, en el seno del aire. Cuando el aire del hueco fuese calentado, tendría que pasar inmediatamente una corriente eléctrica, si la electricidad voltaica era capaz de producir una. Faraday halló el efecto deseado. Se sabía, por otro lado, que la electricidad voltaica producía el resto de efectos eléctricos mencionados, así que era capaz de producir todos los efectos eléctricos conocidos.

En cuanto a la electricidad por fricción, muchos de los efectos eran conocidos ya, como los efectos térmicos, por ejemplo. Quedaba por demostrar que también tenía en efecto magnético comparable al de la electricidad voltaica. Retardando la rapidez de la descarga, pudo mostrar experimentalmente que la electricidad por fricción se comportaba de un modo muy similar a la voltaica, y, mediante otra serie de experimentos, a la electricidad animal.

El caso de la termoelectricidad fue el más difícil para Faraday. La electricidad producida por calentamiento del punto de unión de dos metales distintos fue establecido por Seebeck. Para esta nueva forma de electricidad, no se habían demostrado efectos electrostáticos, ni de calentamiento, ni la capacidad para descomponer soluciones. Faraday había demostrado experimentalmente que las diferencias entre las electricidades por fricción y voltaica podían ser explicadas por la diferente intensidad entre ellas, siendo la electricidad por fricción mucho más intensa. Estos resultados experimentales llevaron a Faraday a realizar un razonamiento por analogía, según el cual la termoelectricidad tendría una intensidad muy reducida, y esto es lo que la hacía parecer diferente. Faraday concluye que “si la electricidad común es reducida en

esa cualidad hasta un grado similar al de la termoelectricidad, no puede producir ningún efecto que vaya más allá de la primera" (Faraday, citado en Harré 1986, pp. 171-179).

Para profundizar en sus análisis, Faraday pasó a elaborar otra serie de experimentos con los que pretendía obtener resultados cuantitativos de diferentes tipos de electricidad, con el fin de saber si existía una identidad entre ellas en cuanto a la cantidad de electricidad producida. Como paso previo, Faraday tenía que preparar una medida común de cantidad de electricidad. A fin de calibrar la capacidad de un galvanómetro para registrar la cantidad de electricidad, independientemente de su fuente y de las circunstancias de su descarga, Faraday preparó grupos de frascos de diferentes tamaños, pero almacenó en cada grupo la misma cantidad de electricidad. Para asegurarse de que las cantidades de electricidad eran las mismas, dio al generador electrostático el mismo número de vueltas para cada grupo. Aunque la tensión eléctrica era en todos los casos diferente, inversamente proporcional al número de frascos, cada grupo desvió el galvanómetro en la misma magnitud durante la descarga.

A continuación, Faraday debía obtener un dispositivo voltaico que produjese un efecto equivalente al recién descrito. Para ello, diseñó una célula voltaica con núcleo móvil, que podía ser sumergida en una solución ácida, lo que le permitía observar el tiempo que tardaba en producir sobre el galvanómetro el mismo efecto que una cantidad de electricidad bien determinada producida por fricción. La inmersión del electrodo móvil durante un mismo tiempo producía siempre un mismo efecto. Así pues, como aproximación, parecía que "una célula voltaica construida de cierto modo, y que actúa durante cierto tiempo, produce la misma cantidad de electricidad que una máquina a la que se hace dar cierto número de revoluciones" (Faraday, citado en Harré 1986, pp. 171-179). Al sustituir el galvanómetro por un papel de prueba yodado, el color, profundidad y tamaño de la mancha producida de diferentes modos podía servir para comparar los efectos químicos. Es resultado fue que una misma cantidad de electricidad voltaica y de electricidad por fricción producían el mismo efecto químico. Faraday pudo demostrar que la misma identidad valía para cantidades de electricidad mayores, medidas por el tiempo de acción de la electricidad voltaica, y por el número de vueltas de la máquina electrostática, concluyendo que "es probable que para todos los casos, la potencia química, lo mismo que la fuerza magnética, esté en proporción directa a la cantidad absoluta de electricidad que pase" (Faraday, citado en Harré 1986, p. 177).

Después de los ejemplos presentados en el ámbito de la electricidad, haremos unas reflexiones conjuntas sobre la relación entre modelos teóricos y actividad experimental. En los ejemplos presentados, encontramos una constante en torno a la relación entre modelos teóricos y experimentación, según la cual podemos decir que la conexión es débil, ya que no se puede apreciar de un modo claro que los modelos teóricos guiasen la actividad experimental. Por tanto, existe una autonomía, cuanto menos parcial, de la experimentación con respecto a la teoría. Más bien podemos hablar de una carga experimental, tanto de los modelos teóricos como de la experimentación, en la medida en que las investigaciones se respaldaban en estabilizaciones interactivas llevadas a cabo anteriormente por otros investigadores, que habían contribuido a asentar unas bases prácticas comunes.

Por ejemplo, la electricidad por frotamiento, estudiada por Gilbert, o por rotación, establecida por Hauksbee, o la electrificación por comunicación o por inducción, halladas por Gray, así como los instrumentos que utilizaron para producirlas, o la electricidad voltaica, se convirtieron en parte de la experiencia común del resto de investigadores contemporáneos y posteriores. De hecho, en algunos casos, como los de Gray o Mussenbroek, los hallazgos experimentales se dieron por casualidad, sorprendiendo a los mismos científicos, que realizaron sus diseños experimentales con fines distintos a los resultados obtenidos.

En otras ocasiones, parece haber una cierta influencia de los modelos teóricos en la actividad experimental, pero ésta es de carácter muy genérico y no permite explicar todos los detalles de los experimentos, que dependen en su mayoría de cuestiones que se le van ocurriendo al investigador a lo largo de su propia serie de experimentos. Por tanto, podemos hablar de una infradeterminación de la experimentación por la teoría. Por ejemplo, a pesar de que Gilbert interpretaba sus experimentos en términos del efluvio eléctrico, que rodea la atmósfera y se halla presente en todo el medio, esto no fue lo que le impulsó a estudiar los diferentes comportamientos de diferentes materiales, o los diferentes grados de intensidad. De hecho, al verse incapaz de detectar electrificación en los metales, concluyó que éstos eran no-eléctricos, a pesar de que el modelo del efluvio parecía indicar que la electricidad era omnipresente.

Por otro lado, en el caso de Gray, estudió la calidad de la comunicación eléctrica entre diferentes materiales como resultado de un hallazgo experimental casual, más que como el resultado de preguntas generadas a partir de inferencias de su modelo teórico. También halló que la distancia era relevante en algunos casos de electrificación, pero no en otros, lo que iba más allá de las posibles inferencias de la metáfora del fluido eléctrico. También encontramos en los casos de Volta y Faraday que sus experimentos estuvieron guiados por hipótesis de carácter hasta cierto punto teórico, como la creencia de que la electricidad en las patas de rana se debía a los metales, o que las diferentes formas de electricidad tenían una identidad común. Sin embargo, estas creencias tenían una carga experimental subyacente (Volta era un gran conocedor de los metales y sus propiedades, y Faraday había experimentado largo y tendido con diferentes formas de la electricidad, de manera que conocía algunas conexiones que le llevaron a pensar que podía haber otras muchas). Además, estas creencias de base no pueden dar cuenta de los detalles de las series experimentales de estos investigadores, ya que éstas dependen en mayor medida de la habilidad experimental que éstos poseían, y de las prácticas y aparatos que la comunidad experimental había estabilizado anteriormente, lo que había permitido a estos agentes utilizar estas prácticas como una parte de su experiencia común. El conocimiento del comportamiento eléctrico de los materiales, aparatos como la botella de Leyden, la máquina de electricidad electrostática, fueron las bases experienciales sobre las que Faraday llevaría a cabo sus series experimentales.

Finalmente, en otros casos no sería el modelo teórico el que guiaría la actividad experimental, sino más bien a la inversa, poseyendo la teoría una carga experimental. Por ejemplo, los experimentos de Hauksbee parecían no ajustarse a las implicaciones del modelo

del efluvio. Por otro lado, la comunicación eléctrica estudiada por Gray y los estudios de Franklin con la botella de Leyden hacían pensar en la electricidad como un fluido eléctrico que se transmitía de objetos a otros, más que como un efluvio eléctrico presente en toda la atmósfera. Además, la actividad experimental ponía de manifiesto que, sea cual fuere la interpretación teórica, debía considerarse en el modo de carácter dual, atractivo y repulsivo, de la electricidad. Por otro lado, la analogía llevada a cabo por Faraday, según la cual la diferencia entre termoelectricidad y otros fenómenos eléctricos era de grado, y no esencial, se basaba en los hallazgos experimentales que habían puesto de manifiesto que la electrificación por fricción producía los mismos efectos que la voltaica si se bajaba su intensidad.

En definitiva, los ejemplos mencionados en la investigación de la electricidad presentan diferentes relaciones entre modelos teóricos y experimentación, siendo nula en algunos casos en los que los hallazgos experimentales fueron casuales, de los modelos teóricos hacia la experimentación, cuando las inferencias de los modelos teóricos guiaron la actividad experimental, y de la experimentación a la teoría, cuando los modelos teóricos introdujeron propiedades que habían sido halladas experimentalmente, y aceptadas como propiedades comunes de la electricidad, independientemente del modelo teórico de diferentes científicos. Además, se puede hablar de una asimetría entre modelos teóricos y experimentación, en cuanto que la carga experimental es más robusta y estable, y los modelos teóricos sólo guiaron la experimentación de un modo genérico, mientras que para entender los detalles de estas series experimentales había que atender a la experimentación y las prácticas estabilizadas anteriormente.

5.2. INTERRELACIONES ENTRE TEORÍA Y EXPERIMENTACIÓN: BASE COMÚN DE MODELOS ANTAGÓNICOS.

Hasta ahora no hemos visto más que una pequeña muestra del grueso de investigaciones científicas alrededor de la electricidad en los siglos XVIII y XIX. Existen otros casos en los que la relación entre modelos teóricos y actividad experimental fue más estrecha, y permitió hallar nuevas estabilizaciones interactivas e invariancias que se han convertido en esquemas que guían todavía hoy nuestra experiencia relacionada con la electricidad. La actividad experimental en electricidad parecía indicar que el modelo del fluido eléctrico presentaba problemas considerables a la hora de explicar los crecientes fenómenos eléctricos que formaban parte de la experiencia común. La teoría del fluido parecía sugerir que la carga eléctrica se hallaba distribuida en todo el volumen de un cuerpo electrificado, mientras que la experimentación mostraba que los cuerpos macizos y los huecos mostraban los mismos efectos cuando se cargaban de la misma manera, lo que indicaba que la carga permanecía enteramente en la superficie.

Por otro lado, el modelo del fluido también implicaba que los condensadores de aire se descargarían automáticamente si hubiese un fluido eléctrico en el espacio comprendido entre sus placas, en contra de lo que sucedía experimentalmente. Aepnius, quien destacó esta

inconsistencia, sugirió que la atracción eléctrica quizás podía comportarse como una acción a distancia, de modo similar a como se concebía la atracción gravitatoria. En relación a este tipo de experiencias, Priestley realizó un experimento en el que mostró que un cuerpo hueco cargado no ejercía ninguna fuerza sobre las cargas eléctricas situadas en su interior. Según los razonamientos matemáticos de Newton, si la fuerza gravitatoria disminuía con el cuadrado de la distancia (lo que había sido confirmado experimentalmente en múltiples ocasiones), una capa esférica de materia no ejercería ninguna tracción gravitatoria sobre los cuerpos de su interior. De forma análoga, Priestley concluía que sus experimentos podían indicar que la fuerza eléctrica podía disminuir de forma inversa a la distancia al cuadrado.

Estos hallazgos experimentales indicaban que podía ser una estrategia interesante utilizar las invariancias halladas por Newton en relación a la fuerza gravitatoria como esquemas exploratorios para guiar la actividad experimental en el campo de la electricidad. Estos esquemas exploratorios habían sido utilizados ya por Mitchell en el campo del magnetismo, quien había descubierto ya la ley del inverso del cuadrado de la repulsión entre polos magnéticos similares. En Francia, Coulomb, mediante una balanza de torsión similar a la de Mitchell o Cavendish, pudo obtener datos consistentes con la hipótesis según la cual las fuerzas eléctricas y magnéticas disminuían con el cuadrado de la distancia.

En el experimento de Coulomb las esferas cargadas eran mucho menores que las distancias entre ellas, de modo que las cargas podían considerarse como puntuales, de un modo compatible a las leyes de Newton, que partían de la base de que la masa de un cuerpo se hallaba concentrada en su centro. Del mismo modo, Coulomb ajustaría su diseño experimental a la consideración de que la carga eléctrica se concentraría en un carga puntual en el centro de la esfera. Coulomb utilizó el fenómeno de inducción, hallado anteriormente por otros investigadores, con el que podía producir esferas igualmente cargadas y variar la carga depositada sobre las esferas. Por ejemplo, comenzando con una carga determinada sobre cada esfera, podía reducirla a la mitad conectando a tierra una de las esferas para descargarla y después poniendo las dos esferas en contacto. Estos experimentos fueron replicados por otros científicos, obteniendo siempre resultados prácticamente equivalentes.

Los experimentos de Coulomb llevaron a la generación de una nueva invariancia científica, esta vez en el ámbito de la electricidad, según la cual la fuerza eléctrica entre dos cargas puntuales estáticas era directamente proporcional al producto de las dos cargas, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas. La igualdad matemática entre las dos proporciones dependían de una constante cuyo valor debía hallarse experimentalmente. Se halló también que esta constante dependía del medio.

La ley de Coulomb fue el resultado de una serie experimental mediante la cual se formaron tablas de datos que llevarían a verificar la proporcionalidad indicada, y se calcularía el valor de la constante mencionada. A diferencia de los casos anteriores, el experimento de Coulomb sí estuvo guiado por esquemas exploratorios que tenían su base en un modelo teórico, en este caso en el de la visión newtoniana del universo, que consistía en postular la acción a distancia entre dos cuerpos atendiendo a magnitudes que podían cuantificarse y que

se concentraban en su centro. Además, mediante demostraciones de carácter geométrico, Newton había establecido que estas fuerzas serían inversamente proporcionales a la distancia al cuadrado, y que las fuerzas ejercerían su atracción en línea recta.

Sin embargo, la actividad experimental de Coulomb, a pesar de esta mayor influencia de un esquema basado en un modelo teórico, debía la estabilidad de sus resultados, y la potencial replicabilidad de los mismos, a otras propiedades del diseño experimental ajenas al modelo teórico. Por ejemplo, la estabilidad y replicabilidad de los resultados se debía en parte a la disposición de sistemas de medida estandarizados para las distancias, al uso también estandarizado de las balanzas de torsión para medir este tipo de relaciones entre cuerpos, y al calibraje de la unidad de medida de cargas eléctricas a partir de una carga considerada de valor uno, con la que comparar el resto. Finalmente, la utilización de la inducción eléctrica, o la consideración del carácter dual de la electricidad partían directamente de la experimentación anterior en electricidad, al margen del modelo newtoniano.

Por tanto, el diseño experimental, y las invariancias establecidas, dependieron sólo parcialmente de la fusión conceptual entre la fuerza gravitatoria y la fuerza eléctrica implicada por el uso del modelo newtoniano para como guía exploratoria de los fenómenos eléctricos. Además, incluso esta fusión conceptual implicada por el modelo teórico no fue escogida "a priori" ni ajena a la experiencia. Por un lado, el modelo newtoniano había demostrado ser sobradamente una guía precisa para la exploración del movimiento de los cuerpos terrestres y celestes, y para las relaciones gravitatorias entre ellos. En la época de Coulomb las expresiones matemáticas condensadas en las leyes de Newton eran parte de la experiencia común de la comunidad científica. No era en absoluto descabellado utilizar este modelo como fuente de inspiración para el estudio de las fuerzas eléctricas, y menos aún tras el experimento de Priestley con esferas cargadas eléctricamente.

En resumen, incluso en este caso, en que la experimentación estuvo guiada con mayor fuerza por un modelo teórico, la fusión conceptual implicada por éste tenía una base experiencial, y los diseños experimentales resultantes se basaban sólo parcialmente en este modelo teórico, dependiendo en muchos de sus aspectos en prácticas estabilizadas y en instrumentos de uso extendido tanto en la actividad experimental en el campo de la electricidad como en la experimentación en otras áreas científicas como el magnetismo o la gravedad.

Esta relativa autonomía de los resultados experimentales de Coulomb permitió que éstos fuesen aceptados por toda la comunidad de electricistas. Incluso aquellos, como Faraday o Maxwell, contrarios a la aceptación de la hipótesis de la acción a distancia, tuvieron la necesidad de compatibilizar los resultados experimentales de Coulomb con sus modelos. La ley de Gauss del campo eléctrico tendría la ley de Coulomb como base experimental, a pesar de ser una expresión matemática basada en el modelo teórico de campos. Es la invariancia hallada por Coulomb y expresada en términos matemáticos lo que se convertiría en un esquema de la experiencia de los fenómenos eléctricos compartido por los miembros de la comunidad científica, y no la idea de fuerzas a distancia. Esta invariancia dependía sólo parcialmente de este modelo teórico, y sólo en los aspectos relacionados con la geometría

subyacente al modelo (trayectoria de las fuerzas, influencia de la distancia) con la idea de que las propiedades naturales podían expresarse en magnitudes matemáticas. Otras implicaciones del modelo serían más controvertidas, y no contarían con el mismo grado de aceptación entre los electricistas, de modo que la invariancia hallada por los experimentos de Coulomb, inspirados en algunos aspectos matemáticos de su modelo teórico, podía desligarse de otras consecuencias del modelo sin sufrir por ello cambios notables.

Nos queda por examinar el aspecto del estudio de la electricidad en el que los modelos teóricos tuvieron mayor influencia en el avance y desarrollo de la actividad experimental. Para esto, comenzaremos por la actividad experimental de Oersted. Discípulo de Schelling, interesado en el descubrimiento de las relaciones entre las diferentes fuerzas de la naturaleza, Oersted buscaba como profesor de física las conexiones entre magnetismo y electricidad. Franklin había puesto de manifiesto experimentalmente que las agujas de hierro podían magnetizarse y desmagnetizarse eléctricamente mediante la descarga de una botella de Leyden. Este efecto era transitorio, pero fue un hallazgo que constituiría la carga experimental para que Oersted no cejara en sus intentos.

Para conseguir efectos más duraderos, Oersted hizo uso de la pila eléctrica, que por aquel entonces ya era de uso común. Cuando parecía que la relación buscada era imposible de hallar, Oersted halló en uno de los intentos en que menos fe tenía (ya que la dirección de la aguja con respecto a la corriente no era la adecuada, según la idea de que las fuerzas se transmiten en línea recta), que la aguja se movía hacia la dirección perpendicular con respecto a la dirección de la corriente. De hecho, si se restaba el efecto magnético de la Tierra sobre la brújula, parecía que la aguja se situaba en una dirección perfectamente perpendicular. Tras este hallazgo, Oersted realizó nuevos diseños experimentales que le permitieron hallar nuevas estabilizaciones, según las cuales un cable que transportaba una corriente eléctrica rotaba en torno a un polo magnético e, inversamente, un imán tendería a moverse en torno a un cable estacionario que transportase una corriente.

El problema a la hora de comunicar los resultados obtenidos fue que la terminología utilizada por Oersted reflejaba parcialmente sus influencias filosóficas, lo que dificultaría la comprensión de los experimentos y las estabilizaciones alcanzadas. En palabras de Oersted:
“Daremos el nombre de conflicto de electricidad al efecto que tiene lugar en el conductor y en el espacio circundante. Todos los cuerpos no magnéticos parecen penetrables por el conflicto eléctrico, mientras que los cuerpos magnéticos resisten el paso de dicho conflicto. De ahí que puedan moverse merced al impulso de los poderes enfrentados (…). De los hechos anteriores podemos colegir asimismo que dicho conflicto realiza círculos, ya que sin este extremo parece imposible que una parte del cable conector, cuando está situado bajo el polo magnético, lo desvíe hacia el este, y, cuando está situado encima de él, hacia el oeste, ya que está en la naturaleza del círculo que los movimientos hacia partes opuestas posean una dirección opuesta” (Oersted, citado en Mason 2001, vol. 4, p. 118).

La relación hallada por Oersted despertó un enorme interés en la comunidad científica. Al cabo de unos meses, los electricistas más relevantes hablarían de la experiencia de Oersted

como una experiencia fácil o autoevidente. Sin embargo, para llegar a esta conclusión hizo falta un proceso de experimentación intersubjetiva por parte de los diferentes científicos, que les permitiría adquirir la maestría suficiente en relación a los fenómenos electromagnéticos. El experimento de Oersted fue seguido por una larga serie de experimentos por parte de diversos agentes como Biot, Ampere, Davy y Faraday, o Barlow y Wollaston, entre otros.

Todos estos experimentadores realizaron variaciones sistemáticas en las condiciones experimentales iniciales, permitiendo diferentes grados de libertad al cable de corriente o a las agujas imantadas, utilizando diferentes alturas en diferentes direcciones. Estas variaciones sistemáticas, y la estabilidad de los resultados obtenidos a lo largo de las mismas, dieron progresivamente una mayor confianza a la comunidad científica, y un mayor control y manejo de esta fuerza directiva naciente, distinta a las fuerzas de atracción y repulsión que se habían estudiado científicamente hasta el momento. Los diferentes investigadores intercambiaron sus resultados experimentales, y los hallazgos de unos sirvieron como fuente de inspiración para otros, llegando a generarse una comunidad científica en relación a estos temas (Gooding 1990). Todos participaban de los mismos materiales, y tenían que resolver los mismos problemas técnicos, como por ejemplo controlar la influencia magnética de la tierra, o minimizar la influencia de las fuerzas gravitatorias en los experimentos.

Por otro lado, los diferentes investigadores no sólo compartían los mismos recursos y los mismos problemas técnicos, sino que también compartían la construcción de modelos perceptuales con los que guiar sus investigaciones. Estos modelos perceptuales se basaban en la representación geométrica de la trayectoria de la fuerza magnética alrededor de la corriente. Como ya dijimos en el caso de la mecánica, la geometría era para la comunidad científica un referente para el pensamiento, en tanto en cuanto había permitido obtener resultados mediante procesos sistemáticos y fácilmente repetibles. El éxito de la geometría como guía de la experiencia en el caso de la astronomía y la mecánica hacía que ésta siguiera siendo, con más razón, una guía fiable para la experiencia de estos nuevos e inciertos fenómenos.

Los diferentes investigadores hallaron modelos geométricos comunes para dar sentido a los hallazgos experimentales compartidos, viendo círculos detrás de las configuraciones de las agujas alrededor de la corriente. Estos esquemas geométricos permitieron establecer nuevas invariancias, como por ejemplo la que relacionaba la intensidad de la fuerza con la dirección entre las agujas y el cable, siendo la intensidad máxima cuando la posición de las agujas era perpendicular a la del cable, y nula cuando era paralela. La experimentación guiada por estos modelos geométricos también permitió a Ampere establecer la regla de la mano derecha para conocer el sentido de la fuerza magnética.

Desde un punto de vista teórico, sí existió una controversia alrededor de la naturaleza de esta nueva fuerza directiva entre electricidad y magnetismo. Mientras que para unos era una fuerza que se transmitía a distancia, para otros era el resultado de perturbaciones o vibraciones producidas en un éter o en el medio. Por otro lado, para Ampere el magnetismo no era más que el resultado de fuerzas eléctricas internas al imán, mientras que para otros se trataba de

una fuerza de naturaleza distinta (Gooding 1990). Sea como fuere, lo importante aquí es que este tipo de discusiones se plantearon, en gran medida, en un nivel de análisis diferente al de la experimentación y los modelos geométricos que sirvieron como guía conjunta y compartida de la misma.

La experimentación y los modelos geométricos resultantes permitieron a los investigadores más familiarizados con los desarrollos matemáticos de la época establecer algunas expresiones matemáticas que describieran el comportamiento experimental de la fuerza magnética alrededor de una corriente. Esta fuerza era directamente proporcional a la intensidad de la corriente, e inversamente porporcional al cuadrado de la distancia, obteniendo la igualdad matemática final mediante una constante de proporcionalidad para la fuerza magnética. La dirección de la fuerza magnética venía, a su vez, indicada por la regla de la mano derecha establecida por Ampere, y la intensidad era máxima cuando la dirección de la fuerza era perpendicular a la corriente, y nula cuando era paralela. Los cálculos subyacentes a esta ley se realizaron atendiendo a un segmento infinitesimalmente pequeño del cable, y la fuerza magnética originada por dicho segmento. Por tanto, había que calcular la integral de la función obtenida para obtener la fuerza magnética a lo largo de todo el cable. Como vemos, la invariancia matemática describía el comportamiento de las agujas atendiendo al modelo geométrico compartido por la comunidad científica, independientemente de otras consideraciones teóricas más alejadas de la experimentación.

Al imaginar la fuerza magnética en diferentes direcciones en un plano perpendicular a la corriente, y utilizando la expresión matemática descrita como esquema exploratorio, se concluye que ésta es circular y constante a lo largo del cable, tal y como ponían de manifiesto los modelos geométricos derivados de los resultados experimentales. Si el cable eléctrico se cerraba formando un círculo, las fuerzas magnéticas se distribuían de un modo equivalente a como lo harían en un imán. Si un cable eléctrico se enrolla sobre sí mismo varias veces en forma de bobina, la fuerza magnética iría en línea recta dentro de la bobina, yendo de un polo al otro en los extremos. Finalmente, al cerrar una bobina sobre sí misma, adquiriendo la forma de una rosquilla, denominada toroide, la fuerza magnética sigue una dirección circular, perpendicular a las esferas del toroide, sin salirse nunca del mismo.

Todas estas representaciones geométricas derivadas de los diferentes experimentos realizados se ajustaban asimismo a la expresión matemática mencionada, que se conoce como ley de Biot, también deducida por Ampere. Esta ley no sólo tenía como referente las representaciones geométricas y los experimentos que las respaldaban, sino también las invariancias previas de la ley de la Gravitación Universal de Newton y de Coulomb, como se puede comprobar por la semejanza estructural de las mismas. Sin embargo, esta ley se ajustaba perfectamente a las exigencias del modelo geométrico de las fuerzas magnéticas, que eran muy diferentes a las fuerzas estudiadas anteriormente. En este sentido, la carga experimental pesaba más que la carga teórica.

Además, Ampere dedujo matemáticamente que la magnitud de la fuerza magnética en cada uno de esos círculos podía calcularse como el producto de la intensidad de corriente que

pasa por cada círculo por la intensidad de la fuerza que saldría tangencialmente por cada uno de los puntos del círculo. Una vez más, habría que recurrir al cálculo infinitesimal para calcular la integral y conocer la fuerza global del círculo. En este caso, Ampere combinó el modelo geométrico derivado de los experimentos con la noción de fuerza tangencial de Newton, que tiende a escapar por la tangente de la trayectoria circular.

En resumen, hacia finales de 1820 había un acuerdo general en relación a aspectos fundamentales del electromagnetismo: la dependencia anómala de la fuerza con respecto a la posición y el modo como las agujas se situaban en una dirección perpendicular a la corriente, y propiedades que apuntaban a una similaridad (cuando no una identidad) entre estos fenómenos y el magnetismo ordinario. Estos acuerdos dependían del intercambio de técnicas experimentales y modelos geométricos que permitieran visualizar de un modo común los resultados obtenidos. Los acuerdos no dependían, sin embargo, de la interpretación física de los fenómenos. Ningún experimento decidió entre teorías en conflicto, pero sí había acuerdo en que los experimentos producían los fenómenos que debían ser estudiados.

Con el tiempo, Barlow y otros científicos y matemáticos desarrollaron representaciones geométricas para otros fenómenos eléctricos y magnéticos, debido a los buenos resultados que habían manifestado en el electromagnetismo a la hora de generar acuerdos y consensos, y unas bases experienciales comunes. Para esto, las analogías entre las líneas que representaban los rayos de luz en el campo de la óptica geométrica fueron las bases de esta nueva fusión conceptual. Del mismo modo que las líneas que representaban los rayos de luz convergían hacia un imán, las líneas que representaban la fuerza magnética convergían cuando pasaban por una espira de hierro (Gooding 1990, p. 100). De un modo similar, las líneas geométricas que escapan radialmente de una carga puntual servirían para representar la fuerza electrostática. Si dos cargas se atraían, las líneas tenderían a converger, mientras que si se repelían las líneas divergían asintóticamente en esa línea de encuentro entre cargas (Gooding 1990, cap. 4).

Las representaciones geométricas que guiaban la experiencia de los fenómenos electromagnéticos, junto con la analogía de las representaciones geométricas de los rayos de luz, se extenderían gradualmente a las fuerzas magnéticas, eléctricas y de cualquier tipo. Esto no implicaba que los científicos se comprometieran o no con la existencia de dichas líneas, o que tuvieran una teoría física determinada, sino simplemente que tenían unos esquemas exploratorios comunes que guiaban la experimentación y que permitían matematizar algunos de los hallazgos experimentales.

5.3. USOS PRAGMÁTICOS DEL MODELO COMO GUIA DE LOS DISEÑOS EXPERIMENTALES

En este contexto, se le encomendó a Faraday la tarea de realizar una revisión histórica de los experimentos y teorías del electromagnetismo para resumir el gran cúmulo de trabajos inspirados por el descubrimiento de Oersted. Faraday decidió entonces repetir los experimentos en su propio laboratorio. A lo largo de esta tarea, Faraday llevó su actividad

experimental más allá de los trabajos realizados, probando con nuevas disposiciones espaciales de los materiales, hasta conseguir un gran conocimiento de las relaciones geométricas entre las fuerzas eléctricas y magnéticas (Gooding 1990).

Tras repetir muchos experimentos con los que alcanzó experiencias como las de Oersted y otros investigadores, Faraday construyó un "rotor electromagnético" basado en la misma idea. Colocó una barra magnética pivotada en un extremo, de modo que pudiera girar alrededor del alambre a lo largo de la fuerza que actuaba sobre el polo móvil. Utilizó mercurio para completar el circuito. Diseñó también un dispositivo, esta vez con el imán fijo, y el alambre que transportaba la corriente giraba a su alrededor, demostrando que el imán ejercía una fuerza de rotación sobre el alambre. Por tanto, tenemos dos versiones del rotor electromagnético. En cada una de ellas la copa está llena de mercurio, de modo que una gran corriente eléctrica puede pasar entre el alambre superior y la base. Por un lado, el polo sur de un imán está fijo y el polo norte puede girar libremente a lo largo de una de las fuerzas circulares magnéticas que rodean la corriente. Por otro lado, la barra que transporta la corriente gira alrededor de la barra magnética sujeta firmemente.

La siguiente pregunta que se plantearía Faraday es si, del mismo modo que la corriente eléctrica generaba una fuerza magnética, a su vez la fuerza magnética podría generar corrientes eléctricas. Durante aproximadamente una década, Faraday investigó arduamente sin conseguir resultados evidentes. La idea fundamental era que un imán generase una corriente eléctrica, del mismo modo que una corriente eléctrica había generado una fuerza sobre el imán. Sin embargo, las series experimentales guiadas por esta idea no tuvieron ningún éxito.

En uno de sus experimentos, Faraday había dispuesto dos alambres próximos el uno del otro, pero sin tocarse. A través de uno de los alambres circulaba corriente eléctrica generada por una batería. Los alambres estaban enrollados alrededor de un anillo de hierro, que presentaría una fuerza magnética generada por la corriente del alambre. La idea era que esta fuerza magnética generase a su vez una fuerza eléctrica en el otro alambre. Para detectar este fenómeno, había unido este segundo alambre a un galvanómetro que le permitiera detectar la cantidad de fuerza. Faraday pudo percibir que la corriente "inducida" sí tenía lugar, pero duraba tan sólo un momento, al hacer contacto con la batería, moviendo la aguja del galvanómetro, y otro instante, al desconectar la batería del primer alambre, moviéndose la batería esta vez en un sentido contrario.

Faraday realizó nuevas series experimentales en las que variarían sistemáticamente las condiciones del experimento hasta dar con los aspectos esenciales de este nuevo fenómeno. En primer lugar, demostró que el anillo de hierro no era necesario; una corriente en un trozo de alambre enrollado podría inducir una corriente momentánea en otro cable enrollado mediante otros materiales, e incluso sólo por aire. También halló que cuando una barra magnética se insertaba en el extremo de un trozo de cobre enrollado, se inducía en éste una corriente momentánea de inducción.

El problema de Faraday era que no entendía por qué esta corriente inducida no se daba de un modo continuo, del mismo modo que una corriente eléctrica producía efectos

magnéticos constantes. En uno de sus múltiples experimentos, Faraday colocó dos imanes sobre una mesa de madera, con el polo norte de uno mirando hacia el polo sur del otro. Los imanes estaban suficientemente cerca como para atraerse, pero no tanto como para llegar a juntarse; la atracción a esa distancia no era suficiente para superar el rozamiento con la mesa. Faraday sabía que la fuerza estaba ahí aunque no se manifestase, porque si dejaba caer limaduras de hierro entre los dos imanes, aquéllas se movían hacia los polos y se quedaban pegadas a ellos.

Faraday modificó posteriormente el experimento, colocando un trozo de papel recio sobre los dos imanes y esparciendo por encima las limaduras para retardar el proceso de acoplamiento de las limaduras a los polos. El rozamiento de las limaduras contra el papel permitía esto, al retenerlas e impedir que se dirigieran hacia los polos de los imanes. Al no obtener ningún resultado demasiado clarificador, Faraday dio un ligero golpecito al papel para que las limaduras se movieran un poco. En este momento, las limaduras giraron como si fueran diminutas agujas magnéticas, y quedaron señalando a uno u otro imán.

Las limaduras se disponían de tal manera que parecían alinearse realmente según curvas que iban del polo de uno de los imanes al polo del otro. Faraday lo estudió con detenimiento, analizando a la geometría subyacente de dicha disposición. Las líneas situadas exactamente entre los dos polos eran rectas. Por los laterales, las limaduras se disponían trazando una curva. Cuanto más fuera estaban las líneas, más curvada era la línea que dibujaban. Estas “líneas” dibujadas por las limaduras se extendían además por toda la superficie. Además, la disposición de las limaduras no se había generado de un modo instantáneo, sino que había sido un proceso que había requerido un cierto lapso de tiempo.

Con estos resultados experimentales, Faraday estaría preparado para elaborar nuevas hipótesis de trabajo para el diseño de nuevos experimentos. Las limaduras parecían dibujar líneas de fuerza extendidas por toda la superficie, similares a las que se utilizaban para representar geométricamente las fuerzas magnéticas. Además, Faraday había comprobado que un cable enrollado a un anillo de hierro podía generar corriente en un segundo cable también enrollado al hierro, aunque fuera de una forma breve. También había conseguido el mismo resultado cambiando el hierro por cobre, o incluso transmitiendo la fuerza de un alambre al otro a través del aire.

Con este bagaje experimental, la idea de que las líneas de fuerza fueran las verdaderas agentes de la transmisión o propagación de la fuerza eléctrica y magnética, más que una mera representación geométrica útil para captar los elementos geométricos de estas fuerzas, parecía más plausible que considerar la transmisión de la fuerza a distancia. Reinterpretando el experimento anterior, Faraday podía pensar que la corriente del primer alambre generaría unas líneas de fuerza magnéticas circulares alrededor de la corriente. Al cortar el segundo alambre, estas líneas de fuerza que se extendían por el espacio generaban corriente, de modo que el galvanómetro mostraba brevemente actividad. Solamente al desconectar el primer alambre, las líneas de fuerza magnéticas se desvanecían volviendo al foco emisor. Es por esto que, al cortar el alambre por segunda vez, pero en esta ocasión en la

dirección opuesta, la aguja del galvanómetro también manifestaba la detección de corriente, pero esta vez en el sentido inverso a la primera vez.

Si esta nueva interpretación era correcta, y las líneas de fuerza geométricas eran las verdaderas portadoras de la fuerza magnética, y las desencadenantes de la corriente eléctrica observada, podría generarse corriente continua si el foco emisor cambiaba constantemente, modificando así las líneas de fuerza magnéticas que genera, y cortando así constantemente la segunda fuente de energía eléctrica.

Para ello, Faraday utilizó un disco de cobre, de tal modo que colocó una parte del mismo entre los dos polos de un imán en forma de herradura. Al hacer rotar el disco de cobre mediante una manivela, la conducción eléctrica entre los dos polos atravesaría constantemente las líneas de fuerza generadas en el imán. De este modo, Faraday pudo conseguir una corriente continua en la placa de cobre adherida al disco, dando así con el primer generador eléctrico. La idea principal que se podía extraer de esta serie experimental es que era la variación de las líneas de fuerza magnética la que produce una corriente en un alambre. Tras ulteriores experimentos, estableció que esta corriente se puede producir por un imán que se mueve relativo a un alambre, por un cambio en la corriente que circula en un segundo alambre, o por cualquier cambio que se genere en este sistema, perturbando de algún modo las líneas de fuerza.

La carga experimental del nuevo modelo teórico de Faraday le permitió adquirir confianza a la hora de pensar en los fenómenos electromagnéticos a partir de estas líneas físicas de fuerza. Cada línea de fuerza representaría una magnitud o unidad de fuerza eléctrica o magnética. Un conjunto de líneas de fuerza en una misma dirección formaría tubos de líneas de fuerza con un área determinada, que determinaría una mayor o menor magnitud de la fuerza eléctrica o magnética. Además, ya que las líneas de fuerza se extendían desde un foco emisor, como pueda ser una carga puntual, las líneas divergerían al alejarse de la carga, de modo que la intensidad de la fuerza disminuiría con la distancia. Las líneas de fuerza de Faraday podían explicar de este modo los hallazgos experimentales realizados por otros investigadores, a pesar de que éstos hubieran sido interpretados de un modo distinto por ellos. Esto fue posible, en gran medida, porque a pesar de estas divergencias interpretativas, las herramientas utilizadas en los diseños experimentales y las representaciones geométricas de los mismos sí que formaban parte del bagaje experiencial común de los científicos interesados en estos fenómenos. Faraday no habitaba en un mundo distinto al de Coulomb o Ampere al postular la existencia física de las líneas de fuerza, sino que interpretó de un modo distinto el mundo compartido con ellos.

Posteriormente, Faraday realizó nuevos hallazgos experimentales, como por ejemplo que un condensador eléctrico, cuyas placas estuvieran separadas por un material aislante, acumulaba mayor cantidad de energía que un conductor cuyas placas sólo estuvieran separadas por el vacío. Para este fenómeno, supuso que las líneas de fuerza eléctrica se condensaban más en un material aislante que en un vacío en proporción a la capacidad

inductiva específica del aislante, de modo que las placas del condensador podían acomodar más carga eléctrica en los extremos de las líneas de fuerza.

Por otro lado, también descubrió un tipo similar de interacción entre cuerpos materiales y campos de fuerza magnéticos. Investigando con diversas sustancias en forma de barra, llamadas "diamagnéticas", se orientaban en las líneas de fuerza magnéticas adoptando una posición en ángulo recto con respecto a las mismas, mientras que con las barras de hierro y otras sustancias denominadas "paramagnéticas", sucedía que se orientaban a lo largo del campo magnético, paralelas a las líneas de fuerza. Faraday explicó estos efectos suponiendo que las líneas de fuerza magnética se rarificaban en las sustancias diamagnéticas, condensándose en el hierro y otros cuerpos paramagnéticos.

Yendo aún más lejos, Faraday estudió la relación entre fenómenos electromagnéticos y ópticos. En realidad, cuando descubrió los fenómenos diamagnéticos fue en un contexto en el que Faraday ya investigaba acerca de esta conexión. Como dijimos anteriormente, la analogía de las rectas geométricas que representaban los rayos de luz en óptica geométrica fue importante para desarrollar las representaciones geométricas de las fuerzas eléctricas y magnéticas. Entre otros experimentos, Faraday situó un trozo de vidrio entre los polos de un electroimán de gran potencia, y observó que el vidrio se orientaba a través del campo magnético. Al pasar un haz de luz polarizada a través del vidrio a lo largo de las líneas de fuerza magnéticas, descubrió que el plano de polarización de la luz cambiaba.

Tal interacción entre el magnetismo y la luz hizo pensar a Faraday que la luz podría consistir en vibraciones ondulatorias a lo largo de las líneas de fuerza, sintetizando así su modelo teórico para el electromagnetismo con la teoría ondulatoria de la luz. Faraday se preguntaba "si no sería posible que las vibraciones en determinada teoría se supone que explican la radiación y los fenómenos radiantes no podrían producirse en las líneas de fuerza que conectan las partículas y consiguientemente las masas de materia; una idea que en tanto en cuanto se admita, prescindirá del éter, que, desde otro punto de vista, se supone que es un medio en el que tienen lugar dichas vibraciones" (Faraday, citado en Mason, vol. 4, p. 123).

El legado dejado por Faraday y los demás electricistas sería aprovechado por matemáticos como Maxwell, Thompson o Weber para desarrollar modelos matemáticos unificados. Nos centraremos en el caso de Maxwell para apreciar una investigación en la que el modelo teórico fue a la delantera de posteriores diseños experimentales. Maxwell dedicó gran parte de sus esfuerzos al desarrollo de una teoría unificada del electromagnetismo. El modelo teórico de Maxwell no surgió de la nada, al margen de las investigaciones y teorías precedentes. Más bien al contrario. De hecho, puede considerarse que el gran éxito de Maxwell fue combinar conceptualmente de una forma creativa y nueva los hallazgos realizados anteriormente.

Maxwell tenía, en primer lugar, el reto de explicar de un modo unificado y sistemático diferentes aspectos del electromagnetismo. Para ello, contaba con las investigaciones de Faraday, quien había ofrecido una interpretación prometedora con la idea de que las fuerzas electromagnéticas se hallaban en las líneas de fuerza que unían las diferentes partículas,

corrientes e imanes. Sin embargo, la actividad experimental de Faraday había sido muy extensa y fructífera, y, a pesar de que Faraday contaba con modelos geométricos que otorgaban un cierto orden y sentido a los resultados experimentales, no había hallado unas bases explicativas comunes. Además de las investigaciones de Faraday, el campo del electromagnetismo contaba con otros resultados experimentales estables, compartidos por la comunidad científica, que relacionaban la fuerza magnética con corrientes eléctricas, la fuerza magnética de un imán o la de una corriente estática. También había evidencias de conexiones entre el comportamiento químico y físico de los materiales y los fenómenos eléctricos y magnéticos, y relaciones entre la electricidad y diferentes tipos de sustancias, o entre fenómenos electromagnéticos y ópticos.

Además de este bagaje experimental del campo del electromagnetismo, Maxwell también partía de su conocimiento de las leyes de la mecánica. Igual que para Thompson, para Maxwell las leyes de la mecánica eran las bases del pensamiento seguro y riguroso. Thompson aseguraba "no estar satisfecho hasta haber construido un modelo mecánico del objeto que estoy estudiando. Si consigo hacer uno, comprendo; de lo contrario, no" (Thompson, citado en Mason 2001, vol. 4, p. 126). Thompson había utilizado una analogía entre la teoría del calor y la electricidad, que le permitió elaborar hipótesis sobre un éter mecánico por el que se desplazarían las líneas de fuerza.

La mecánica newtoniana era el verdadero estandarte de la física, que guiaba la exploración del movimiento de los cuerpos sólidos desde Newton. Más aún, a lo largo del siglo XVIII se habían elaborado ecuaciones matemáticas capaces de dar cuenta de los movimientos de un fluido, o del movimiento de ondas mecánicas longitudinales y transversales. Estas ecuaciones eran compatibles, y de hecho se deducían, a partir de las leyes de Newton y su extensión con los conceptos derivados de la ley de conservación de la energía.

Por tanto, más que un modelo teórico surgido "a priori" en la mente del científico, tenemos que pensar que Maxwell tenía como premisa ajustar su modelo teórico a los modelos geométricos derivados de la actividad experimental en electromagnetismo, la interpretación de las líneas físicas de fuerza de Faraday, por ser las que mejor explicaban los fenómenos establecidos experimentalmente, y la mecánica newtoniana, que era la base de la física, y la herramienta común del pensamiento de los científicos de la época, ya fueran defensores de la interpretación de la fuerza como acción a distancia o como la perturbación de líneas de fuerza en un campo de fuerzas.

A partir de este bagaje experiencial compartido con el resto de la comunidad científica, que vehiculaba tanto el desarrollo de esquemas que guiaban la interpretación de la experiencia acumulada experimentalmente, y también gran parte del desarrollo tecnológico que estaba transformando la sociedad, Maxwell diseñó un modelo teórico emergente, que daría lugar a un conjunto de ecuaciones que constituirían su teoría electromagnética, la cual sería el producto de un proceso de fusión conceptual entre diferentes elementos de estos dominios de la experiencia.

El método utilizado por Maxwell fue denominado por él mismo “método de las analogías”. Maxwell utiliza analogías entre las teorías de las líneas de fuerza de Faraday y las ecuaciones pertenecientes a fluidos incompresibles provenientes de la mecánica newtoniana, desarrolladas por Bernoulli, con las cuales encuentra la forma de hacer matemáticamente expresables (y respetables), las teorías cualitativas de Faraday. Los detalles de estas analogías pueden consultarse en artículos más especializados (Maxwell 2006, Nersessian 1992, 1995). Maxwell no desarrolla la metáfora del fluido hasta el punto de hallar una teoría unificada, ya que plantea varias hipótesis acerca de la interpretación de una corriente eléctrica.

Después de su éxito inicial con la formulación de expresiones matemáticas para ciertas partes de la teoría de Faraday, Maxwell se dedicó al arduo problema de encontrar una explicación mecánica de las leyes que había expresado matemáticamente, una explicación que condujera a una teoría unificada de la electricidad.

Maxwell utiliza para esta empresa la elaboración de un modelo mecánico con el que va obteniendo ecuaciones compatibles con las leyes de la mecánica newtoniana, de las cuales deriva, mediante semejanzas y analogías, conexiones con la teoría de campos de Faraday y las leyes experimentales halladas en electromagnetismo. Maxwell sabía que tenía que dar con un modelo mecánico cuyas ecuaciones permitieran deducir todo el conocimiento que se había estabilizado experimentalmente en electromagnetismo. Además, también debería hallar las posibles conexiones entre este área y la óptica, ya que se conocía experimentalmente que debían estar relacionadas.

El modelo de Maxwell contaba con discos que rotaban alrededor de sus ejes, cuyas presiones y rozamientos determinaban las ecuaciones mecánicas de su movimiento. El modelo debía estar compuesto de discos en rotación, puesto que el comportamiento circular de la fuerza magnética alrededor de una corriente era análogo a la rotación de las partículas de un fluido alrededor de un vórtice. El modelo de Maxwell, sin embargo, conducía a inconsistencias mecánicas que debían ser resueltas, ya que dos tubos vecinos que rotasen en el mismo sentido se moverían en direcciones opuestas en los puntos en que se tocasen, algo que no era mecánicamente factible.

Maxwell se lamenta de este hecho y asegura que “la única idea que me ha ayudado a concebir este tipo de movimiento es que los remolinos están separados por una capa de partículas girando cada una alrededor de su propio eje, en dirección opuesta a la de los remolinos, de forma que las superficies de contacto entre partículas y remolinos tienen el mismo sentido de movimiento” (Maxwell 2006). Maxwell sabía que en mecánica, cuando se quiere que dos ruedas giren en la misma dirección, se coloca entre ellas otra rueda que engrane con ambas, y que se llama ‘piñón loco’. “La hipótesis que sugiero sobre los remolinos es que entre cada uno de los remolinos contiguos se interpone una capa de partículas que actúa como piñón loco, de esta forma cada remolino tiende a hacer que sus vecinos se muevan en su misma dirección” (Maxwell 2006, p. 18).

Esta es sólo una de las muchas modificaciones que sufriría el modelo mecánico de Maxwell antes de satisfacerle como el generador de las ecuaciones del campo

electromagnético. A lo largo de este proceso, Maxwell identificaba ciertas propiedades de los fenómenos electromagnéticos con propiedades del modelo mecánico mediante relaciones de semejanza. Por ejemplo, los remolinos representaban el magnetismo, mientras que las partículas que se mueven entre ellos representaban la electricidad.

Otro de los cambios más significativos fue el de otorgar elasticidad a los remolinos, que hasta entonces se habían considerado rígidos. Matemáticamente, esto implicaba que la transmisión de la fuerza mecánica de los mismos debía implicar un lapso de tiempo. Dentro de la fusión conceptual de Maxwell, esto también quería decir que la inducción electromagnética tendría una velocidad finita de propagación. El modelo de Maxwell le permitió deducir todas las ecuaciones del electromagnetismo, suficientes para explicar todos los fenómenos electromagnéticos hallados experimentalmente hasta la época. Maxwell estaba muy lejos de otorgar realidad ontológica a su modelo mecánico, pero lo interesante del mismo no era su posible existencia, sino la posibilidad que le ofreció de hallar un conjunto de ecuaciones que pudieran guiar la experimentación relacionada con el electromagnetismo, y sus relaciones con otras áreas de la física.

Gracias al modelo mecánico, Maxwell pudo establecer múltiples puentes entre magnitudes consolidadas en mecánica con magnitudes electromagnéticas emergentes, ligadas a la actividad experimental, ofreciendo definiciones matemáticas precisas de dichas magnitudes, que permitirían explotar las ecuaciones para generar nuevas inferencias que se convertirían en la base de nuevos diseños experimentales.

Maxwell utilizó las magnitudes que había definido y que estaban relacionadas con leyes experimentales del electromagnetismo para combinar las constantes de estas ecuaciones y encontrar de este modo un valor determinado de propagación de las ondas electromagnéticas a través del medio mecánico. El resultado que Maxwell halló le llevó a afirmar que “no es posible rehuir la deducción de que la luz está constituida por ondulación transversal del mismo medio que es la causa de los fenómenos eléctricos y magnéticos” (Maxwell, citado en Tipler 2010, vol. 2, p. 1065). Maxwell apoyó esta conclusión en medidas experimentales de la velocidad de la luz independientes de su modelo teórico. Esta deducción dependía enteramente de las semejanzas establecidas entre el modelo mecánico de Maxwell y las representaciones geométricas de los fenómenos electromagnéticos. Gracias a esta fusión conceptual, Maxwell pudo hallar que la ecuación para averiguar la velocidad de propagación de las fuerzas eléctricas y magnéticas era estructuralmente equivalente a la de una onda transversal mecánica, pero que dependía de las magnitudes del campo magnético y la densidad del medio de propagación. Maxwell relacionó la densidad del medio con la permeabilidad magnética, una magnitud que se había utilizado experimentalmente.

Maxwell también pudo deducir desde sus ecuaciones que una de las leyes experimentales del electromagnetismo, que medía la fuerza del campo electromagnético generado por una corriente eléctrica, debía ser modificada para ajustarse a todo el edificio de ecuaciones compatibles con su modelo mecánico. Esto le llevó a introducir el concepto de corriente de desplazamiento, que modificaría esta ley experimental. Posteriormente, Maxwell

utilizaría un experimento mental haciendo uso de un condensador que permitiría demostrar experimentalmente la validez de esta novedad. Sin embargo, el mismo Maxwell asegura no tener "noticia de que nadie lo haya hecho, y por tanto esta parte de la teoría, aunque es una consecuencia natural (del resto), no está verificada experimentalmente. El experimento sería, sin duda, muy complicado y delicado" (Maxwell 2006, p. 37).

Tras obtener todos estos fructíferos resultados a partir de las inferencias generadas por su modelo y las ecuaciones derivadas del mismo, Maxwell tuvo que reconsiderar la teoría que los había hecho posibles. En este momento, había dos direcciones que Maxwell podría tomar: o bien la de elaborar aún más el mecanismo hasta dar con una teoría completamente mecánica del electromagnetismo, o bien liberar a la teoría del mecanismo. Maxwell escogió la segunda opción, demostrando ser consecuente con la idea que no se cansó de repetir acerca del uso que debía hacerse de los modelos teóricos en la ciencia, que no era otro que el utilizarlos como puente entre las experiencias presentes y potenciales diseños experimentales inspirados en las inferencias de los modelos.

Maxwell se centró entonces en presentar las ecuaciones de las ondas electromagnéticas de un modo independiente al modelo mecánico, llevando a cabo una interpretación operativa de las mismas, asumiendo los mínimos compromisos metafísicos en relación a la realidad independiente del campo electromagnético y la consideración de que las magnitudes electromagnéticas debían considerarse fundamentales, con tal de dar sentido a dichas ecuaciones (Mawxell 2006).

Maxwell dejaría constancia de su idea de que los modelos teóricos debían servir como puente para guiar la actividad experimental a partir de las experiencias establecidas: "El problema de determinar el mecanismo necesario para establecer una clase concreta de conexión entre los movimientos de las partes de un sistema admite siempre infinitas soluciones. Algunas pueden ser más torpes o más complejas que otras, pero todas deben satisfacer las condiciones de un mecanismo general" (Maxwell 2006, p. 38).

Posteriormente, otros investigadores como Thompson (por aquel entonces Lord Kelvin), entre otros, intentarían desarrollar modelos más específicos del éter que unificara las teorías de la luz y el electromagnetismo, aunque este tipo de intentos de hallar un modelo mecánico subyacente para estos fenómenos resultaría ser poco fructífero. Gradualmente, todos los modelos del éter hubieron de ser abandonados junto con el espacio absoluto cuando se demostró que la idea de la velocidad absoluta de un cuerpo, esto es, su velocidad relativa al éter, carecía de sentido.

Una consecuencia más importante de la teoría electromagnética de la luz fue señalada por Fitzgerald. Este profesor de filosofía natural de Dublín estudió las consecuencias de las ecuaciones de Maxwell y su teoría, afirmando que, atendiendo a las inferencias de su modelo teórico, habría de ser posible generar radiaciones electromagnéticas de manera exclusivamente eléctrica variando periódicamente la corriente eléctrica en un circuito.

Hertz sería el encargado de desarrollar series experimentales para demostrar que una corriente eléctrica oscilante emitía ondas electromagnéticas que tenían todas las

características conocidas de la luz, excepto la visibilidad. La prueba de Hertz tuvo un gran éxito y fue rápidamente aceptada por la comunidad de los físicos.

Para conseguir esto, Hertz colocaba dos esferas metálicas pulimentadas de modo que hubiese una pequeña zona de aire entre ellas. Se conectaban las esferas con un par de cables a un dispositivo conocido por arrollamiento de inducción. Se comunicaba a las esferas una gran carga eléctrica, de signos opuestos, y de pronto la diferencia de potencial entre las mismas era suficiente para que la zona de aire entre ellas se ionizase, proporcionando un medio conductor de la electricidad para que saltase una chispa. El aire conductor permitía que las cargas oscilasen de una esfera a otra hasta alcanzar el equilibrio. Entonces, cuando el aire se hacía de nuevo no conductor, se cargaban otra vez las esferas y se producía otra serie de oscilaciones por el mismo proceso.

Si los argumentos de Maxwell eran correctos, mientras saltaba cada chispa se propagaban ondas electromagnéticas de la misma frecuencia que las oscilaciones hasta unos 5×10^{8} seg $^{-1}$, según las estimaciones de Hertz, que corresponden a una longitud de onda de unos 60 cm. Además de esta radiación se dispersaría desde las esferas y sería detectable por la producción de una corriente fluctuante en un alambre a cierta distancia, como se indicó anteriormente.

Hertz pudo observar estos efectos, aun cuando el alambre receptor se situara a muchos metros de distancia del oscilador. Hertz demostró a continuación que la radiación obtenida poseía todas las características de la luz. Las técnicas experimentales necesarias para determinar la velocidad de esta radiación se conseguirían posteriormente. En 1985 se pudieron realizar los experimentos necesarios para confirmar la hipótesis de que la velocidad era la misma que tenía la luz.

De este modo, las reflexiones teóricas de Maxwell, y su uso de la fusión conceptual entre los modelos geométricos de Faraday para dar sentido a sus resultados experimentales y los esquemas exploratorios derivados de las leyes de la mecánica de Newton, permitieron diseñar nuevos experimentos que llevarían más lejos las posibilidades de la experimentación científica, y de la experiencia humana en general, gracias al desarrollo de tecnologías derivadas de estos hallazgos científicos, como son la radio o el microondas, entre otros muchos (Sánchez Ron 2005).

La aceptación de los experimentos de Hertz por parte de la comunidad de físicos estuvo posibilitada porque éstos sólo dependían parcialmente del modelo teórico de Maxwell y sus inferencias. Por otro lado, las técnicas experimentales de Hertz dependían de otros factores independientes, que eran elementos comunes de la comunidad científica. La capacidad conductora del aire, el uso de metales de dos signos de carga distintos, instrumentos de medida que permitían medir frecuencias de onda, tiempos, y otras magnitudes físicas, etc., eran todos aspectos básicos del diseño experimental de Hertz que estaban asentados entre las prácticas comunes de la comunidad científica, y permitieron dotar al diseño experimental de Hertz de una gran robustez.

6. CONCLUSIÓN

En este apartado hemos presentado los rasgos fundamentales de la actividad científica, como son la teoría y la experimentación, relacionándolos con los aspectos de la experiencia y la cognición que hemos visto en el apartado anterior. Mientras que la experimentación se basa más en aspectos corporales y culturales compartidos, que forman parte del bagaje experiencial común, los modelos teóricos se generan a partir de las propiedades cognitivas asociadas al lado más subjetivo de la experiencia.

Sin embargo, es en la interrelación entre estos dos aspectos de la actividad científica donde esta práctica cultural humana adquiere todas sus virtudes y características propias. La actividad científica utiliza las bases de la experiencia cotidiana (bases corporales comunes, artefactos e instrumentos de uso compartido, estandarización y sistemas de medida, sintaxis, semántica y léxico), para realizar series experimentales que permiten estabilizar fenómenos y efectos de una forma sistemática, mediante protocolos que minimizan la variabilidad intersubjetiva. Estos nuevos efectos y fenómenos pasan a formar parte de la base experiencial de la comunidad científica.

Por otro lado, los modelos teóricos combinan de formas creativas diferentes dominios de la experiencia, sobre la base de relaciones de semejanza de los aspectos considerados relevantes en cada ocasión, de manera que dominios de la experiencia en los que se han alcanzado mayores acuerdos, y que son de fácil acceso a las condiciones sensorimotoras humanas, se utilizan como bases para generar inferencias sobre dominios de la experiencia más difusos, de difícil acceso o que presentan una mayor variedad de interpretaciones.

Esta dinámica permite diseñar nuevos experimentos que dependen parcialmente de las inferencias de los modelos teóricos, y parcialmente de otras estabilizaciones interactivas compartidas por la comunidad científica, lo que permite alcanzar resultados estables y robustos, que confirman la adecuación de los modelos que han servido como fuente de inspiración. Sin embargo, en ocasiones estos diseños experimentales no consiguen demostrar de una forma definitiva la superioridad de un modelo teórico sobre otro. Esto puede parecer problemático a primera vista, pero deja de serlo si se considera que los científicos asumen el carácter pragmático y provisional de estos modelos teóricos, que son fundamentalmente una herramienta para alcanzar nuevos horizontes para la experiencia humana, y para encontrar nuevas bases experienciales compartidas que permitan confeccionar un mundo y unos esquemas exploratorios cada vez más comunes y precisos, o, dicho de otro modo, objetivos.

De hecho, más que una búsqueda de la verdad, consideramos que la dinámica de las prácticas científicas constituye un motor que parte de la experiencia y, a través de diseños experimentales y modelos teóricos, escala hacia nuevas estabilizaciones interactivas que transforman a su vez la experiencia humana, dejando un nuevo legado compartido para las siguientes generaciones. Es este carácter objetivador de la ciencia el que nos parece más significativo desde el punto de vista epistémico. Por eso, dedicaremos nuestras consideraciones finales a esta virtud epistémica de la ciencia.

CONSIDERACIONES FINALES:

Es hora de poner en relación nuestro modelo dinámico de las prácticas científicas con las generaciones anteriores en filosofía de la ciencia, desde un punto de vista epistémico. En un principio el modelo dinámico se opone al de la Concepción Heredada, en la medida en que asume, como la Nueva Filosofía de la Ciencia, que no puede hablarse de una representación directa de elementos del mundo, ni de un lenguaje formal que puede discriminar entre teorías científicas y no científicas, independientemente del contenido o significado de las mismas. Más bien, como en el caso de la Nueva Filosofía de la Ciencia, el modelo dinámico asume que la existencia de un sentido común de un grupo es fundamental para la generación de teorías, experimentos, métodos o técnicas de investigación compartidos.

Sin embargo, existe una diferencia crucial con respecto a la Nueva Filosofía de la Ciencia a la hora de concebir el origen de este sentido común para el desarrollo de la ciencia, ya que, mientras en el caso de la Nueva Filosofía de la Ciencia se busca este nexo en las redes semánticas o teóricas compartidas, cuando no en intereses extracientíficos, en el caso del modelo dinámico este horizonte de sentido común es la experiencia compartida por los miembros de la comunidad científica, en tanto que comparten unas estructuras corporales y unas prácticas culturales que permiten coordinar sus interacciones en el mundo. Esta diferencia, que sitúa a la práctica en primer lugar con respecto a la teoría, es de vital importancia para comprender las consecuencias epistémicas de nuestro modelo, ya que la base teoreticista concibe que toda interpretación divergente del fenómeno de estudio desde un punto de vista teórico implica vivir en mundos distintos, inconmensurables entre sí, mientras que desde nuestro punto de vista, existen unas prácticas y bases experienciales compartidas que son más profundas que las posibles divergencias teóricas. Este énfasis en la práctica y la interacción sitúan a nuestro modelo del lado de la Tradición Experimental, en contraposición a las aproximaciones anteriores, de carácter marcadamente teoreticista.

Por tanto, si vamos a situar la experiencia y la práctica como bases de nuestro modelo dinámico de la ciencia, y queremos poner de manifiesto las implicaciones epistémicas de este cambio, es necesario recurrir a los conceptos desarrollados en la segunda parte sobre la experiencia y la cognición humanas, para ver el uso que de ellas hacen las diferentes prácticas científicas, y el modo en que interactúan entre ellas para llevar la experiencia y la cognición más allá de sus límites, a pesar de partir de ellas.

El modelo dinámico de las prácticas científicas sitúa la experiencia como el alfa y el omega de la ciencia. Como el resto de prácticas culturales y actividades humanas, la ciencia nace de las bases corporales, interactivas, culturales y lingüísticas de la experiencia. Estas bases permiten desarrollar a lo largo del tiempo procesos interactivos estructurados y sistemáticos dentro de una comunidad, coordinando las acciones de sus miembros mediante el uso de artefactos, instrumentos y representaciones comunes. A pesar de este horizonte intersubjetivo compartido, la experiencia de cada agente dentro de su comunidad depende de sus experiencias concretas, la habilidad adquirida en diferentes entornos y actividades, y sus

mecanismos atencionales y propósitos, que vehiculan su imaginación y la generación de estrategias de razonamiento determinadas que pueden diferir notablemente de un sujeto a otro.

La actividad científica nace en el seno de la cultura humana, con el objetivo de limitar estas diferencias subjetivas en la experiencia de diferentes agentes, a pesar de compartir unas bases corporales y prácticas comunes. La actividad experimental hace un uso determinado de las prácticas, instrumentos y artefactos de uso común en el seno de la comunidad, que permite, mediante la expansión de los procesos cognitivos posibilitados por la sintaxis y la semántica, producir espacios experimentales que varían sistemáticamente las condiciones de aparición de un fenómeno y sus grados de intensidad. Esta sistematicidad permite estabilizar ciertos protocolos de acción que se asocian con la aparición del fenómeno y sus grado de intensidad. Este proceso experimental es uno de los rasgos fundamentales de la actividad científica, y permite dar con nuevos procedimientos compartidos que permiten hallar los aspectos esenciales asociados a la aparición de un fenómeno.

De este modo, la experimentación permite suprimir posibles diferencias entre la experiencia de diferentes agentes que abordan la exploración de un fenómeno de modos distintos, o que tienen diferentes niveles de habilidad en el uso de las técnicas de investigación implicadas en cada caso. Esta virtud de la experimentación alcanza su máxima expresión cuando se introducen en los experimentos estrategias, instrumentos o protocolos que permiten estandarizar el estudio de los factores implicados en la exploración de un fenómeno mediante el establecimiento de unidades de medida, y prácticas e instrumentos específicos de uso compartido que permiten obtener datos fiables. En algunos casos, la estandarización de algún factor de interés requiere de procesos cognitivos como proyecciones metafóricas o fusiones conceptuales, como el caso de las medidas asociadas al tiempo, analizadas brevemente en la segunda parte, y en el caso de Galileo. La medida del tiempo, la masa o la temperatura han sido fundamentales para la realización de experimentos que han permitido sentar las bases de nuestra experiencia cotidiana. La estandarización de estos sistemas de medida no sólo requieren procesos cognitivos de este tipo, sino que a su vez se asientan en una cuidada fenomenotecnia y el desarrollo de largas series experimentales (Chang 2007).

El uso de proyecciones metafóricas y fusiones conceptuales entre diversos dominios de la experiencia no sólo se da en el caso del establecimiento de unidades de medida, sino que, como hemos visto, constituye la base de la generación de los modelos teóricos en ciencia. En este sentido, los modelos teóricos representan el lado más subjetivo de la actividad científica, en la medida en que implican seleccionar aspectos relevantes de investigación según criterios de semejanza establecidos dentro de la fusión conceptual o metáfora que sienta las bases del modelo teórico y de las inferencias resultantes del mismo.

Sin embargo, el hecho de que estas proyecciones metafóricas sean el puente hacia una integración conceptual entre la matemática y nuevos dominios de la experiencia hace que el uso de los modelos teóricos en ciencia permita generar, mediante la creatividad y flexibilidad de estos modelos para imaginar mundos posibles, nuevos diseños experimentales que

conllevan la objetivación de dominios de la experiencia que hasta el momento habían sido objeto de gran controversia.

Para ello, la primera estrategia de la ciencia es la de utilizar proyecciones metafóricas que permiten analizar un dominio de la experiencia mediante el conocimiento de otros dominios que son de más fácil acceso a los científicos, en tanto que seres humanos con unas bases interactivas determinadas. El estudio de los gases, la naturaleza del calor, la estructura interna y microscópica de la materia, la naturaleza de la luz, la electricidad y el magnetismo, o de la atención humana (Johnson 1999), han sido posibles gracias a estas proyecciones metafóricas, que han dado la posibilidad de pensar en estos dominios como si fueran fluidos, partículas en movimiento, ondas, o tubos.

La sólida base experiencial de estas proyecciones metafóricas, que se asientan en relaciones de semejanza en algunos aspectos entre los diferentes dominios implicados, a la luz de nuestra experiencia y nuestra interacción sostenida con el mundo, garantiza que las inferencias resultantes de los modelos teóricos no sean arbitrarias, sino que posean una carga experiencial, que delimite las posibles inferencias que puedan resultar de los mismos (Gooding 1992, Nersessian 1992).

Dentro de este juego de metáforas y fusiones conceptuales entre dominios de la experiencia, hemos concedido una especial atención a los modelos teóricos de la ciencia que se basan en fusiones conceptuales entre el dominio explorado y las bases de razonamiento de la geometría. Esto no es casualidad, ya que la geometría constituye desde la Antigüedad un dominio de la experiencia que se compone de protocolos de acción compartidos, que garantizan la sistematicidad y repetibilidad de los mismos, y la robustez de los resultados obtenidos.

Esto es así porque la geometría se centra en el análisis de las formas, y la segmentación numérica de las mismas, dejando de lado otros aspectos de la experiencia más difusos y que den más cabida a diferencias subjetivas en cuanto a la comprensión e interpretación de los mismos, y a diferentes prácticas y protocolos de acción asociados. Tanto es así que nuestra tesis es que el motor de la dinámica de las prácticas científicas lo constituye el uso de dominios objetivados mediante la fusión conceptual con el dominio de la geometría como base para el desarrollo de modelos teóricos en otro dominios. Los ejemplos presentados en los puntos 4 y 5 de esta tercera parte nos permiten corroborar esta idea, pero haría falta un estudio más extenso que abordase otros dominios de la experiencia y otras disciplinas científicas para poder determinar el nivel de generalización de esta tesis. Sea como fuere, de lo que no cabe duda es de que esta estrategia, cuando se lleva a cabo, permite que la creatividad de los modelos teóricos se oriente hacia proyecciones metafóricas que maximicen la objetivación potencial de la experiencia en el dominio explorado, mediante el diseño de nuevos experimentos.

Como hemos visto en casos como los de Newton o Maxwell, sus modelos teóricos sólo les interesaron, desde el punto de vista científico, en la medida en que lanzaban nuevas inferencias e hipótesis con una sólida base experiencial, pero con el nivel de flexibilidad

suficiente para explorar consecuencias inéditas de sus modelos teóricos, que guiarían la experimentación hacia la confirmación de dichas inferencias. Cualquier aspecto del modelo teórico que no tuviera una incidencia directa en la guía de la experiencia de la comunidad científica se consideraba secundario y carente de interés. La visualización de formas, trayectorias y partículas puntuales, permitidas por la representación geométrica de los modelos teóricos, eran las bases exploratorias para interpretar los experimentos realizados, y guiar la experimentación futura. Sólo puntualmente, otros aspectos de los modelos teóricos, relativos a interpretaciones físicas de los mismos, más allá de sus formas geométricas, eran considerados relevantes cuando la experimentación ponía de manifiesto la viabilidad o inviabilidad de una de las interpretaciones posibles sobre otra.

La generación de nuevos diseños experimentales es el resultado de esta relación dinámica entre teoría y experimentación. Las inferencias del modelo teórico llevan a los diseños experimentales más allá de las bases experienciales compartidas, para obtener nueva información acerca del dominio que se está explorando. Por otro lado, la base experimental de los nuevos diseños, que siempre se basan parcialmente en técnicas, instrumentos y prácticas compartidas y estabilizadas en series experimentales anteriores, garantizan que los resultados obtenidos en los nuevos diseños experimentales no sean meros constructos del modelo teórico en el que se inspira parcialmente el nuevo diseño experimental. De este modo, los diseños experimentales derivados de la relación dinámica entre teoría y experimentación conducen a la comunidad científica de lo común a lo nuevo.

Para conseguir esto, los diseños experimentales involucran el diseño y uso de nuevos aparatos y artefactos, sobre la base de conocimientos técnicos previamente estabilizados, que dependen de otros dominios de la experiencia distintos al dominio que está siendo explorado, y también de las expectativas generadas por las inferencias del modelo teórico, relacionadas con el posible comportamiento de los factores implicados en el experimento (movimientos, trayectorias, aumentos o disminución de intensidad, etc.). Estas expectativas se basan, sobre todo, en las implicaciones geométricas y aritméticas del modelo teórico, aunque en ocasiones pueden llevar aparejado otro tipo de consideraciones, como en algunos experimentos de Faraday, que pasaron a depender de la hipótesis de la existencia física de las líneas de fuerza.

Los diseños experimentales permiten obtener, la mayoría de las veces, resultados replicables, que en muchas ocasiones han permitido decidir qué modelo teórico es más plausible o verosímil a la hora de interpretar un dominio de la experiencia. Sin embargo, el papel más relevante desde el punto de vista epistémico, cuando pasamos del plano teórico al práctico y experiencial, no es la aceptación o rechazo de modelos teóricos, sino los cambios que estos diseños experimentales y la replicabilidad de sus resultados suponen para la experiencia y la cognición humanas.

Los diseños experimentales constituyen la base desde la cual la especie humana ha establecido esquemas compartidos en dominios de la experiencia cotidiana, y han permitido realizar cálculos e inferencias precisas sobre el comportamiento físico de los diferentes objetos de nuestro entorno, y las relaciones entre algunos factores de los mismos. Nos permiten

conocer qué sucederá si mezclamos cantidades determinadas de diversas sustancias, el nivel de temperatura necesaria para elevar un grado una sustancia determinada, la fuerza del motor de un avión, y la forma exacta de sus alas, para elevarse y aterrizar de un modo eficaz, o el momento exacto del día en que hay que lanzar un cohete para que se alinee con los astros de un modo adecuado y desarrolle un movimiento orbital, o utilizar ondas electromagnéticas para calentar la comida, o escuchar y ver a distancia a seres humanos desde cualquier parte del planeta, o incluso desde la Luna.

De este modo, los diseños experimentales son la base transformacional por antonomasia de la experiencia humana, ya que nos dotan de nuevos esquemas exploratorios, aparatos e instrumentos con los que interactuar con nuestro entorno. Estas transformaciones de la experiencia se asientan como bases de la experiencia de las nuevas generaciones, que habitan un mundo común con un mayor horizonte de posibilidades que sus antecesores y, lo que es más importante en este contexto, un mundo más objetivado, en la medida en que consta de esquemas e instrumentos que permiten anticipar y controlar de forma precisa un mayor conjunto de fenómenos, y estandarizar la información obtenida en torno a los mismos mediante datos numéricos.

Es esta dimensión práctica y transformacional de la dinámica científica y los diseños experimentales la que nos parece prioritaria, y la que permite ver con claridad el progreso acumulativo y el acceso a un mundo objetivado, y a un conjunto de prácticas y esquemas exploratorios compartidos. La búsqueda de teorías 'verdaderas', que nos permitan representar 'el' mundo de un modo adecuado, es un ideal que no sólo es imposible para una especie cuyas capacidades cognitivas están siempre limitadas por su base experiencial e interactiva, sino que también ha demostrado ser problemático, en la medida en que ha dado lugar a discordia y conflictos, que han marcado, desafortunadamente, la historia de la humanidad. Es en la transformación conjunta de las estructuras materiales del mundo, y no en las representaciones de los diversos modelos teóricos, donde hay que buscar las principales virtudes de la ciencia.

La ciencia ha sido un gran antídoto de este mal, ya que ha permitido llevar la experiencia y la cognición humana a su máxima expresión y alcance, pero también ha servido para tomar conciencia de los propios límites a la hora de escapar de las propias cadenas de la experiencia, esto es, para acceder al 'ojo de Dios'. La objetivación, desde el punto de vista práctico y transformacional, más que la objetividad, como representación, es el motor de la dinámica de las prácticas científicas. El científico debe tener las virtudes epistémicas (Daston y Galison 2007) suficientes para utilizar los modelos teóricos como guías de la experiencia, y como puentes en el proceso de objetivación de la experiencia, discriminando aquellos aspectos útiles en cada caso para la realización de este propósito, y dejando de lado, como aspectos secundarios, aquellos compromisos teóricos que no sean relevantes o significativos en este sentido. El ser humano está cognitivamente preparado para explorar un mismo fenómeno desde múltiples perspectivas, según sus propósitos y esquemas exploratorios puestos en juego, obteniendo en cada caso un conjunto de inferencias determinadas. Por tanto, a diferencia de lo que pensaba Kuhn, la resistencia a cambiar de modelo teórico por parte de algunos científicos

a lo largo de la historia (no de todos, como muestra un atento análisis histórico de la ciencia) no nos parece una consecuencia de la naturaleza de la cognición humana, sino un problema ético, o práctico, que el científico debe poder solucionar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Alac, M. 2009. "Moving Android: On Social Robots and Body-in-Interaction", *Social Studies of Science*, 39 (4), pp. 491-528.
- Anderson, M. L. 2008. "On the Ground of (X)-Grounded Cognition", en Paco Calvo y Toni Gomila (eds.). 2008. *Handbook of Cognitive Science: An Embodied Approach.* Amsterdam: Elsevier, pp. 423-436.
- Arabatzis, T. 2008. "Experiment", en Psillos, S., Curd, M. (eds.). 2008. *The Routledge Companion to the Philosophy of Science*. London: Routledge, pp. 159-169.
- Ash, M., Sturm, T. (eds.) 2007. *Psychology's Territories: historical and contemporary perspectives from different disciplines*. Malwah: Lawrence Elbaum.
- Asimov, I. 1979. *Breve historia de la química: introducción a las ideas y conceptos de la química*. Madrid: Alianza.
- Asimov, I. 1984. *Cómo descubrimos el átomo*. Barcelona: Molino.
- Asimov, I. 1985. *Nueva Guía de las ciencias Físicas*. Barcelona: Plaza y Jané.
- Asimov, I. 1986. *La Búsqueda de los Elementos*. Barcelona: Plaza & Jané.
- Asimov, I. 1994. *Átomo: viaje a través del cosmos subatómico*. Barcelona: RBA.
- Asimov, I. 2000. *Grandes Ideas de la Ciencia*. Madrid: Alianza.
- Bacon, R. 2000. *Novum Organum*. Barcelona: Folio.
- Baird, D. 2003. "Thing Knowledge: Outline of a Materialist Theory of Knowledge", en Radder, H. (ed.). *The Philosophy of Scientific Experimentation*. Pittsburg: Pittsburg University Press, pp. 39-67.
- Barnes, B. y Bloor, D. 1982. "Relativism, Rationalism and the Sociology of Knowledge", en Marta I. González García, José A. López Cerezo y José Luís Luján (eds.). 1997. *Ciencia, tecnología y sociedad: lecturas seleccionadas*. Barcelona: Ariel, pp. 25-48.
- Becvar, L.A., Hollan, J., Hutchins, E. 2007. "Representational Gestures as Cognitive Artifacts for Developing Theory in a Scientific Laboratory". en C. Halverson y M. Ackerson (eds.) *Artifacts in Workplace Practice*. Kluwer: Academic Publishers, pp. 117-143.
- Bernet, R.; Kern, I.; Marbach, E. 1993. *An Introduction to Husserlian Phenomenology*. Evanston, IL: Northwestern University Press.
- Best, J. 2001. *Psicología cognitiva*. Madrid: Paraninfo.
- Bloor, D. 1979. *Knowledge and Social Imagery*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Boden, M. 1984. *Inteligencia artificial y hombre natural*. Madrid: Tecnos.
- Bourdieu, P. 1999. "El conocimiento por cuerpos", en P. Bourdieu, *Meditaciones Pascalianas*. Barcelona: Anagrama, pp. 169-214).
- Brockman, J. (ed.). 2007. *El Nuevo Humanismo y las Fronteras de la Ciencia*. Barcelona: Kairós.

- Broncano, F. 2000. *Mundos Artificiales: Filosofía del Cambio Tecnológico*. México: Paidós.
- Broncano, F. 2006. "Sujeto y Subjetividad en la Mente Extensa", *Revista de Filosofía,* 31 (2), pp. 109-133.
- Brooks, R. 1991. "Intelligence without Representation", en Haugeland, J. 1997. *Mind Design II: Philosophy, Psychology, Artificial Intelligence*. Cambridge: MIT Press, pp. 395-420.
- Bruner, J. S. 1998. *Actos de significado*. Madrid: Alianza.
- Buchwald, J. Z. (ed.). 1995. *Scientific practice: theories and stories of doing physics*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Buchwald, J. 2002. "Notas sobre el Conocimiento Inarticulado, experimentación y traducción". *Theoria*, v. 17/2, nº 44, pp. 243-263.
- Calvo, P.; Gomila, A. 2008. "Directions for an Embodied Cognitive Science: Toward an Integrated Approach", en Calvo, P. y Gomila, A. (eds.). 2008. *Handbook of Cognitive Science: An Embodied Approach*. Amsterdam: Elsevier, pp. 1-26.
- Carnap, R. 1935. "Filosofía y sintaxis lógica", en Muguerza, J. 1981. *La concepción analítica de la filosofía*. Madrid: Alianza, pp. 294-337.
- Carnap, R. 1931. "Überwindung der Metaphysik durch logische Analyse der Sprache". *Erkenntnis*, vol. 2, pp. 219 ss.
- Carnap, R. 1985. *Fundamentación Lógica de la Física*. Esplugues de Llobregat: Orbis.
- Cartwright, N. 1983. *How the Laws of Physics Lie*. New York: Oxford University Press.
- Cartwright, N. 1994. *Nature's Capacities and their Measurement*. Oxford: Clarendon Press.
- Cartwright, N. 1999. *The Dappled World: A Study of the Boundaries of Science*. Cambridge UK: Cambridge University Press.
- Cartwright, N. 2007. *Hunting Causes and Using Them: Approaches in Philosophy of Economics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Casacuberta, D., Estany, A. 2003. *¿Eureka?: el trasfondo de un descubrimiento sobre el cáncer y la genética molecular*. Barcelona: Tusquets.
- Castelnuovo, E. 1980. *Didáctica de la Matemática Moderna*. México: Trillas.
- Chang, H. 2007. *Inventing Temperature: measurement and scientific progress*. Oxford: Oxford University Press.
- Chang, H., Cartwright, N. 2008. "Measurement", en Psillos, S., Curd, M. (eds.). 2008. *The Routledge Companion to the Philosophy of Science.* London: Routledge, pp. 367-375.
- Chi, M. 1992. "Conceptual Change within and across Ontological Categories: Examples from Learning and Discovery in Science", en Giere, R. (ed.). 1992. *Cognitive models of science*. Minneapolis: University of Minnesota, pp. 129-186.
- Chomsky, N. 1999. *Aspectos de la teoría de la sintaxis*. Barcelona: Gedisa.

- Churchland, P. M. 1992a. “A Deeper Unity: Some Feyerabendian Themes in Neurocomputational Form”, en Giere, R. (ed.). 1992. *Cognitive models of science.* Minneapolis: University of Minnesota.

- Churchland, P. M. 1992b. *A Neurocomputational perspective: the nature of mind and the structure of science*. Cambridge: MIT Press.

- Cisek, P. 1999. “Beyond the Computer: Behaviour as Control”, en Núñez, R.; Freeman, W. J. 1999. *Reclaiming Cognition: the primacy of action, intention and emotion*. Thorverton: Imprint Academic, pp. 125-142.

- Clark, A. 1997. *Being there: putting brain, body and world together again*. Cambridge: MIT Press.

- Clark, A. 1999. “Visual Awareness and Visuomotor Action”, en Núñez, R.; Freeman, W. J. 1999. *Reclaiming Cognition: the primacy of action, intention and emotion.* Thorverton: Imprint Academic, pp. 1-18.

- Clark, A. 2001. *Mindware: An introduction to the philosophy of cognitive science*. Nueva York: Oxford University Press.

- Clark, A. 2003. “Artificial Intelligence and the Many Faces of Reason”, en Stich, S. P.; Warfield, T. A. (eds.). *The Blackwell Guide to Philosophy of Mind*. Malden: Blackwell, pp. 309-321.

- Collins, H. M. 1985. “An Empirical Relativist Programme in the Sociology of Scientific Knowledge”, en Marta I. González García, José A. López Cerezo y José Luís Luján (eds.). 1997. *Ciencia, tecnología y sociedad: lecturas seleccionadas*. Barcelona: Ariel, pp. 49-66.

- Collins, H. M.; Yearley, S. 1992. “Epistemological Chicken”, en Pickering, A. (ed.). 1992. *Science as practice and culture*. Chicago: The University of Chicago Press., pp. 301-326.

- Copérnico, N. 2009. *Sobre las Revoluciones de las Orbes Celestes.* Madrid: Tecnos.

- Coulson, S., Oakley, T. 2000. “Blending Basics”. *Cognitive Linguistics*, 11-3/4, pp. 175-196.

- Crowley, S., Hawhee, D. 2009. *Ancient Rethorics for Contemporary Students*. New York: Pearson.

- Damasio, A. 1999. *The Feeling of What Happens: body and emotion in the making of consciousness*. New York: Harcourt Brace.

- Damasio, A. 2005. *En busca de Spinoza: neurobiología de la emoción y los sentimientos*. Barcelona: Crítica.

- Damasio, A. 2006. *El error de Descartes*. Barcelona: Crítica.

- Daston, L. 2004. *Things that Talk: Object Lessons from Art and Science*. New York: Zone Books.

- Daston, L., Galison, P. 2007. *Objectivity*. New York: Zone Books.

- Dedekind, R. 1998. *¿Qué son y para qué sirven los números?, y otros escritos sobre los fundamentos de la matemática*. Madrid: Alianza.

- Dennett, D. 1981. “True Believers: The Intentional Strategy and Why It Works”, en Haugeland, J. 1997. *Mind Design II: Philosophy, Psychology, Artificial Intelligence*. Cambridge: MIT Press, pp. 57-80.

- Dennett, D. 1984. “Cognitive wheels: The frame problem of AI”, en Hookway, C (Ed.). 1984. *Mind, Machines and Programs*. Nueva York: Cambridge University Press.

- Díez, J. E.; Moulines, C. U. 1997. *Fundamentos de Filosofía de la ciencia*. Barcelona: Ariel.

- DiPaolo, E. 2009. “Extended Life”. *Topoi* 28, vol. 1, pp. 9-21.

- Dreyfus, H. 1981. “From Micro-worlds to Knowledge-Representation”, en Haugeland, J. 1997. *Mind Design II: Philosophy, Psychology, Artificial Intelligence*. Cambridge: MIT Press, pp. 143-182.

- Dreyfus, H. 1992. *What computers still can’t do: a critical of artificial reason*. Cambridge: MIT Press.

- Dreyfus, H. L.; Dreyfus, S. D. 1986. *Mind over machine*. Oxford: Basil Blackwell.

- Dupré, J. 1993. *The Disorder of Things: metaphysical foundations of the disunity of science*. Cambridge: Harvard University Press.

- Dupré, J. 1996. “Metaphysical Disorder and Scientific Disunity”, en Galison, P.; Stump, D. J. 1996. *The Disunity of Science*. Stanford: Stanford University Press, pp. 101-117.

- Dupré, J. 2001. *Human Nature and the Limits of Science*. Oxford: Clarendon Press.

- Echeverría, J. 1994. *Introducción a la Metodología de la Ciencia: La Filosofía de la Ciencia en el siglo XX*. Barcelona: Barcanova.

- Echeverría, J. 1998. *Filosofía de la Ciencia*. Torrejón de Ardoz: Akal.

- Edelman, G. M., y Tononi, G. 2002. *El Universo de la Conciencia: cómo la materia se convierte en imaginación*. Barcelona: Crítica.

- Estany, A. 1993. *Introducción a la filosofía de la ciencia*. Barcelona: Crítica.

- Estany, A. 1999. *Vida, muerte y resurrección de la conciencia*. Barcelona: Paidós.

- Estany, A. 2001. *La fascinación por el saber. Introducción a la teoría del conocimiento*. Barcelona: Crítica.

- Faraday, M. 1967. *Experimental Researches in Electricity*. New York: Dover.

- Fauconnier, G. 2005. “Fusión Conceptual y Analogía”. *Cuadernos de Información y Comunicación*, 10, pp. 151-182.

- Fauconnier, G.; Turner, M. 2002. *The Way We Think: conceptual blending and the mind’s hidden complexities*. Nueva York: Basic Books.

- Ferreirós, J. 2004. “El papel de la técnica en el conocimiento científico”. *Conferencia impartida en la Escuela de Ingenieros de la Universidad de Sevilla*.

- Ferreirós, J. 2005. “Certezas e hipótesis: perspectivas históricas y naturalistas sobre la matemática”, en Anna Estany (ed.). *Filosofía de las ciencias naturales, sociales y matemáticas*. Madrid, Trotta (CSIC), vol. 28, pp. 45-73.

- Ferreirós, J. 2007. “La dinámica de la experimentación y su papel en una Filosofía de la práctica científica”. Ponencia presentada en las *Jornadas sobre Observación y Experimentación en la Ciencia: Nuevas perspectivas metodológicas*, 8 y 9 de marzo de 2007.

- Ferreirós, J. 2009. “Mathematical knowledge and the Interplay of Practices”, en *Proceedings of the First Conference of the European Philosophy of Science Association*. Springer Verlag.

- Ferreirós, J.; Ordóñez, J. 2002. “Hacia una filosofía de la experimentación”. *Revista Hispanoamericana de Filosofía*, v. 34, nº 102, pp. 47-86.

- Ferreirós, J., Durán, A. (eds.) 2003. *Matemáticas y Matemáticos*. Sevilla: Universidad de Sevilla.

- Feyerabend, P. 1989. *Contra el método*. Barcelona: Ariel.

- Fleck, L. 1986. *La génesis y el desarrollo de un hecho científico. Introducción al estilo de pensamiento y del colectivo de pensamiento*. Madrid: Alianza.

- Fodor, J. 1975. *The Language of Thought*. Nueva York: Thomas Y. Crowell.

- Fodor, J. 1983. *The Modularity of Mind*. Cambridge: MIT Press.

- Fodor, J.; Pylyshyn, Z. 1988. “Connectionism and Cognitive Architecture: A Critical Analysis” , en John Haugeland (ed.). 1997. *Mind Design II: Philosophy, Psychology, Artificial Intelligence*. Cambridge: MIT Press, pp. 309-350.

- Foucault, M. 1978-1987. *Historia de la Sexualidad*, 3 vols. Madrid: Siglo XXI.

- Franklin, A. 1986. *The Neglect of experiment*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Franklin, A. 1989. “The Epistemology of Experiment”, en Gooding, D.; Pinch, T.; Schaffer, S. (eds.). 1989. *The Uses of experiment: studies in the natural sciences*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 437-460.

- Franklin, A. 1997. “Recycling Expertise and Instrumental Loyalty”. *Philosophy of Science*, 64, pp. 42-52.

- Franklin, A. 2002. “Física y Experimentación”. *Theoria*, v. 17/2, nº 44, pp. 221-242.

- Frege, G. 1973. *Fundamentos de la aritmética*. Barcelona: Laia.

- Freud, S. 1976a. *El Porvenir de una Ilusión*. Buenos Aires: Amorrortu.

- Freud, S. 1976b. *El Malestar en la Cultura*. Buenos Aires: Amorrortu.

- Froese, T.; Ziemke, T. 2009. “Enactive Artificial Intelligence: Investigating the systemic organization of life and mind”. *Journal of Artificial Intelligence*, 173, pp. 466-500.

- Galileo, G. 1976. *Consideraciones y Demostraciones matemáticas sobre dos Nuevas Ciencias*. Madrid: Editora Nacional.

- Galileo, G. 1997. *Diálogos sobre los dos máximos sistemas del mundo ptolemaico y copernicano*. Barcelona: Círculo de Lectores.

- Gallagher, S. 2005. *How the Body Shapes the Mind*. Oxford: Oxford University Press.

- Gallagher, S., Zahavi, D. 2008. *The Phenomenological Mind: an introduction to philosophy of mind and cognitive science*. Londres: Routledge.

- Gallese, V., Sinigaglia, C. 2010. “The Bodily Self as power for Action”, *Neuropsychologia*, 48, pp. 746-755.

- Galison, P. 1987. *How the Experiments End*. Chicago: University of Chicago Press.

- Galison, P. 1995. “Context and Constraints”, en Buchwald, J. Z. (ed.). 1995. *Scientific practice: theories and stories of doing physics.* Chicago: The University of Chicago Press, pp. 13-41.

- Gardner, H. 2000. *La nueva ciencia de la mente: historia de la revolución cognitiva*. Barcelona: Paidós.

- García Arteaga, E. G. 2011. “Las Prácticas Experimentales en los Textos y su Influencia en el Aprendizaje: Aporte Histórico y Filosófico en la Física de Campos”. *Tesis doctoral dirigida por Mercè Izquierdo Aymerich*. Barcelona: Universitat Autònoma de Bellaterra.

- Gibbs, R. 2006. *Embodiment and Cognitive Science*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Gibson, J. J. 1947. *La Percepción del Mundo Visual*. Buenos Aires: Infinito.

- Gibson, J. J. 1986. *The Ecological Approach to Visual Perception*. Nueva York: Psychology Press.

- Giere, R. 1990. *Explaining Science: a cognitive approach*. Chicago: Chicago University Press.

- Giere, R. (ed.). 1992. *Cognitive models of science*. Minneapolis: University of Minnesota.

- Giere, R. 1997. *Understanding Scientific Reasoning*. Fort Worth: Harcourt Brace College.

- Giere, R. 2000. “Naturalism”, en Newton-Smith, W. H. 2000. *A Companion to Philosophy of Science*. Oxford: Blackwell, pp. 308-310.

- Giere, R. 2000. “Cognitive Approaches to Science”, en Newton-Smith, W. H. 2000. *A Companion to Philosophy of Science*. Oxford: Blackwell, pp. 41-43.

- Giere, R. 2002. “Scientific cognition as distributed cognition”, en Carruthers, P.; Stich, S.; Siegal, M. 2002. *The Cognitive Basis of Science*. Cambridge New York: Cambridge University Press, pp. 285-299.

- Giere, R. 2008. “Naturalism”, en Psillos, S., Curd, M. (eds.). 2008. *The Routledge Companion to the Philosophy of Science.* London: Routledge, pp. 213-223.

- Gigerenzer, G. 2001. The Adaptive Toolbox: Toward a Darwinism Rationality, en French, J. A., Kamil, A. C., Leger, D. W. (eds.). *Evolutionary Psychology and Motivation*. Lincoln: University of Nebraska Press, pp. 113-143.

- Giucorello, G. 1993. “Ciencia: la Fuerza de los Afectos”, en Bruner, J. 1993. *Imágenes y Metáforas de la Ciencia*. Madrid: Alianza.

- Glenberg, A. M., de Vega, M., Graesser, A. (eds.). 2008. *Symbols and Embodiment.* Oxford: Oxford University Press.

- Goldstone , R., Landy, D., Son, Ji Y., “A well grounded education: The role of percpeption in science and mathematics” en Glenberg, A. M., de Vega, M., Graesser, A. (eds.). 2008. *Symbols and Embodiment*. Oxford: Oxford University Press, pp. 327-355.

- Gómez Pin, V. 2005. *El hombre: un animal singular*. Madrid: La Esfera de los Libros.

- González del Solar, R. 2007. “Experimento y Observación: Dos Formas de la Experiencia en la Investigación en Ecología”. Ponencia presentada en las *Jornadas sobre Observación y Experimentación en la Ciencia: Nuevas perspectivas metodológicas*, 8 y 9 de marzo de 2007.

- Gooding, D. 1990. *Experiment and the making of meaning. Human agency in scientific observation and experiment*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

- Gooding, D. 1992. “The Procedural Turn or, Why Do Thought Experiments Work?”, en Giere, R. (ed.). 1992. *Cognitive models of science*. Minneapolis: University of Minnesota, pp. 45-76.

- Gooding, D. 1989. “Magneitc curves’ and the Magnetic Field: experimentation and representation in the history of a theory”, en Gooding, D.; Pinch, T.; Schaffer, S. (eds.). 1989. *The Uses of experiment: studies in the natural sciences*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 183-224.

- Gooding, D.; Pinch, T.; Schaffer, S. (eds.). 1989. *The Uses of experiment: studies in the natural sciences*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Gooding, D. 2003. “Varying the Cognitive Span: experimentation, visualisation and computation”, en Radder, H. (ed.) 2003. *The Philosophy of Scientific Experimentation*. Pittsburg: University of Pittsburg Press.

- Gooding, D. 2004a. “Envisioning explanations – the art in science”. *Interdisciplinary Science Reviews*, 29, pp. 1-16.

- Gooding, D. 2004b. “Cognition, Construction and Culture: Visual Theories in the Sciences”, *Journal of Cognition and Culture*, 4 (3-4), pp. 551-592.

- Gooding, D. 2006. “From Phenomenology to Field Theory: Faraday’s Visual Reasoning”, *Perspectives on Science*, 14 (1), pp. 40-65.

- Gooding, D. 2010. “Visualizing Scientific Inference”, *Topics in Cognitive Science,* 2 (1), pp. 15-35.

- Gorman, M. E. 2010. “Trading Zones, Interactional Expertise, and Future Research in Cognitive Psychology”, *Topics in Cognitive Science*, 2 (1), pp. 96-100.

- Greenberg, D., Dickelman, G. J., 2007. “Distributed Cognition: A Foundation for Performance Support”, *Performance Improvement*, 39, pp. 18-24.

- Hacking, I. 1992. “The Self-Vindication of the Laboratory Sciences”, Pickering, A. (ed.). 1992. *Science as practice and culture*. Chicago: The University of Chicago Press, pp. 29-64.

- Hacking, I. 1995a. *La Domesticación del Azar: la erosión del determinismo y el nacimiento de las ciencias del caos*. Barcelona: Gedisa.

- Hacking, I. 1995b. *El surgimiento de la probabilidad: un estudio de las ideas tempranas acerca de la probabilidad*. Barcelona: Gedisa.

- Hacking, I. 1996. “The Disunities of the Science”, en Galison, P.; Stump, D. J. 1996. *The Disunity of Science*. Stanford: Stanford University Press, pp. 38-74.

- Hacking, I. 1996. *Representar e Intervenir*. Barcelona: Paidós.
- Hackman, W. D. 1989. "Scientific Instruments; models of brass and aids to discovery", en Gooding, D.; Pinch, T.; Schaffer, S. (eds.). 1989. *The Uses of experiment: studies in the natural sciences*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 31-66.
- Hadot, P. 1998. *¿Qué es la filosofía antigua?.* México: Fondo de Cultura Económica.
- Hanson, N. R. 1977. *Patrones de descubrimiento. Observación y explicación.* Madrid: Alianza.
- Harré, R. 1986. *Grandes Experimentos Científicos: veinte experimentos que han cambiado nuestra visión del mundo*. Barcelona: Labor.
- Harré, R. 2003. "The Materiality of Instruments in a Metaphysics for Experiments", en Radder, H. (ed.). *The Philosophy of Scientific Experimentation*. Pittsburg: Pittsburg University Press, pp. 19-38.
- Haugeland, J. 1996. "What Is Mind Design?", en Haugeland, J. 1997. *Mind Design II: Philosophy, Psychology, Artificial Intelligence*. Cambridge: MIT Press, pp. 1-28.
- Havidich, M. C., et al. 2008. *L'emergència d'un tribunal per a la raó: el paper de la filosofía de la ciència*. Barcelona: Editorial UOC.
- Heidelberger, M. 2003. "Theory-Ladenness and Scientific Instruments in Experimentation, en Radder, H. (ed.). *The Philosophy of Scientific Experimentation*. Pittsburg: Pittsburg University Press, pp. 138-151.
- Heilman, K. M. 2005. *Creativity and the Brain*. New York: Psychology Press.
- Hempel, C. G. 1952. *Fundamentals of Concept Formation in Empirical Science*. Chicago: University of Chicago Press.
- Hentschel, K. 1997. "The Interplay of Instrumentation, Experiment and Theory: Patterns Emerging from Case Studies of Solar Redshift, 1890-1960", *Philosophy of Science*, 64, pp. 54-64.
- Hoffman, D. D. 2000. *Inteligencia Visual: cómo creamos lo que vemos*. Barcelona: Paidós.
- Holton, G. 1981. *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*. Barcelona: Reverté.
- Holton, G. 1985. *La Imaginación Científica*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Hutchins, E. 1995. *Cognition in the Wild*. Cambridge: MIT Press.
- Hutchins, E. 2002. "The Distributed Cognition Perspective on Human Interaction". University of California, San Diego.
- Hutchins, E. 2004. "I Know what you are saying: Action and Cognition in fMRI Brain Mapping Practice", *Journal of Cognition and Culture*, 4 (3), pp. 329-361.
- Hutchins, E. 2005. "Material Anchors for conceptual blends", *Journal of Pragmatics,* 37, pp. 1555-1577.
- Hutchins, E. 2006. "Imagining the Cognitive Life of Things", en C. Renfrew y L. Malafouris. 2006. *The Cognitive Life of Things: recasting the boundaries of the mind*. Cambridge: McDonald Intsitutte for Archeological Research Publications.

- Hutchins, E. 2008. “The Role of Cultural Practices in the emergence of Modern Human Intelligence”, en E. Hutchins. 2008. *Phil. Trans. R. Soc. B*., 363, 2011-2019 doi:10.1098/rstb.2008.0003

- Hutchins, E. 2011. “Enaction, Imagination and Insight”, en J. Stewart; O. Gappene y E. DiPaolo. *Enaction: Towards a new Paradigm in Cognitive Science*. Cambridge: MIT Press, pp. 425-450.

- Iglesias, M. 2004. “El giro hacia la práctica en filosofía de la ciencia: Una nueva perspectiva de la actividad experimental”, *Revista de Ciencias Humanas y Sociales*, 20 (44), pp. 98-119.

- Ihde, R. 2004. *Los Cuerpos en la Tecnología: nuevas tecnologías, nuevas ideas acerca de nuestro cuerpo*. Barcelona: Editorial UOC.

- Ingold, T. 2000. *The Perception of the Environment: essays on livelihood, dwelling and skill*. Londres, Nueva York: Routledge.

- Ingold, T (ed.). 2008. *Ways of Walking: ethnography and practice on foot*. Aldershot: Ashgate.

- Iverson, J. M.; Thelen, E. 1999. “Hand, Mouth and Brain: the Dynamic Emergence of Speech and Gesture”, en Núñez, R.; Freeman, W. J. 1999. *Reclaiming Cognition: the primacy of action, intention and emotion*. Thorverton: Imprint Academic, pp. 19-40.

- Jackson, M. 1983. “Knowledge of the Body”, *Man* (NS), 18, vol. 2, pp. 327-345.

- Jacob, F. 1999. *La Lógica de lo Viviente: una historia de la herencia*. Barcelona: Tusquets.

- Jacobs, D. M., Michaels, C. F. 2007. “Direct Learning”. *Ecological Psychology*, 19 (4), pp. 321-349.

- De Jaegher, H., Di Paolo, E., Gallagher, S. 2010. “Can Social Interaction Constitute Social Cognition?”, *Trends in Cognitive Sciences*, 14 (10), pp. 441-447.

- Jeannerod, M. 2006. *Motor Cognition: what actions tell the self*. Oxford, Nueva York: Oxford University Press.

- Johnson-Laird, P. N. 1981. “Modelos mentales en ciencia cognitiva, en Norman”, D. A. 1987. *Perspectivas de la ciencia cognitiva*. Barcelona: Paidós, pp. 179-232.

- Johnson-Laird, P. N. 1983. *Mental models: towards a cognitive science of language, inference and consciousness*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Johnson, M. 1991. *El Cuerpo en la mente: fundamentos del significado, la imaginación y la razón*. Madrid: Debate.

- Johnson, M. 1999. “Attention Metaphors: How Metaphors guide the Cognitive Psychology of Attention”, *Cognitive Science*, 23 (1), pp. 83-116.

- Johnson, M. 2007. “We Are Live Creatures: Embodiment, American Pragmatism, and the Cognitive Organism”, *Body, Language, and the Mind*, 1, pp. 17-54.

- Johnson, M.; Lakoff, G. 1981. “La estructura metafórica del sistema conceptual humano”, en Norman, D. A. 1987. *Perspectivas de la ciencia cognitiva*. Barcelona: Paidós, pp. 233-248.

- Johnson, M.; Lakoff, G. 2007. *Las Metáforas de la Vida Cotidiana*. Madrid: Cátedra.

- Johnson, M.; Lakoff, G. 1999. *Philosophy in the flesh: the embodied mind and its challenge to western thought*. Nueva York: Basic Books.

- Kintsch, W. "Symbol systems and perceptual representations", en Glenberg, A. M., de Vega, M., Graesser, A. (eds.). 2008. *Symbols and Embodiment*. Oxford: Oxford University Press.

- Kirsh, D. 1995. "The Intelligent Use of Space". *Artificial Intelligence*. Vol. 73, Nº 1-2, pp. 31-68.

- Kirsh, D. 2010a. "Thinking with the body", en S. Ohlsson, R. Catrambone. *Proceedings of 32nd Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Austin, TX: Cognitive Science Society, pp. 2864-2869.

- Kirsh, D. 2010b. "Explaining Artifact Evolution", en Malafouris, L., Renfrew, C. (eds.). *Cognitive Life of Things: Recasting the Boundaries of the Mind*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Knorr-Cetina, K. 1981. *The Manufacture of Knowledge: An Essay on the Constructivist and Contextual Nature of Science*. Oxford: Pergamon.

- Knorr-Cetina, K. 1992. *The couch, the catedral and the laboratory: on the relationships between experiment and laboratory in science*. Chicago: Chicago University Press.

- Kraft, V. 1966. *El círculo de Viena*. Madrid: Taurus.

- Kuhn, T. S. 1971. *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica.

- Kuhn 1989. "¿Qué son las revoluciones científicas?", en Kuhn, T. S. 2002. *El camino desde la estructura*. Barcelona: Paidós.

- Kuhn, T. S. 2002. *El camino desde la estructura*. Barcelona: Paidós.

- Ladyman, J. 2008. "Idealization", en Psillos, S., Curd, M. (eds.). 2008. *The Routledge Companion to the Philosophy of Science*. London: Routledge, pp. 359-367.

- Lakatos, I. 1980. *The Methodology of Scientific Research Programmes*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Lakoff, G. 1990. *Women, Fire and Dangerous Things: what categories reveal about the mind*. Chicago: University of Chicago Press.

- Lakoff, G. 2005. "The Brain's Concepts: The Role of the Sensory-Motor System in Conceptual Knowledge", en *Cognitive Neuropsychology*, 21, pp. 1-25.

- Lakoff, G., Núñez, R. 2000. *Where the Mathematics Come From: how the embodied mind brings mathematics into being*. New York: Basic Books.

- Lamo de Espinosa, E. 1987. "El estatuto teórico de la sociología del conocimiento". *Revista Española de Investigaciones Sociológicas*, 40, pp. 31-40.

- Lange, R. 2003. "Technology as Basis and Object of Experimental Practices", en Radder, H. (ed.). *The Philosophy of Scientific Experimentation*. Pittsburg: Pittsburg University Press, pp. 119-137.

- Langacker, R. 1991. *Foundations of Cognitive Grammar*, Vol. 2. Stanford: Stanford University Press.

- Latour, B. 1993. *Nunca hemos sido modernos*. Madrid: Debate.
- Latour, B.; Woolgar, S. 1995. *La vida en el laboratorio: la construcción de los hechos científicos*. Madrid: Alianza.
- Leahey, T. H. 2005. *Historia de la psicología*. Madrid: Pearson Educación S. A.
- León, O. G., Montero, I. 2003. *Métodos de Investigación: en Psicología y Educación*. Madrid: McGraw Hill.
- Longino, H. 1989. "Feminism and Philosophy of Science", en *Journal of Social Philosophy*, XXI/2-3, 46-64. Versión castellana de Marta I. González García.
- López Cerezo, J. A. 2007. "Dimensiones de la Observación Clínica en los Orígenes de la Medicina Científica". Ponencia presentada en las *Jornadas sobre Observación y Experimentación en la Ciencia: Nuevas perspectivas metodológicas*, 8 y 9 de marzo de 2007.
- Lozares, C. 2007. "Desarrollo y complejidad de las ciencias cognitivas", en Lozares, C. (ed.). 2007. *Interacción, redes sociales y ciencias cognitivas*, pp. 1-16.
- Maglio, P., Matlock, T., Raphaely, D., Chernicky, B., y Kirsh, D. 1999. "Interactive Skills in Scrabble", en *Proceedings of the Twenty-first Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Mathwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Malet, A. 2003. "Durero, Kepler, Galileo: Estética y geometría en los orígenes de la ciencia moderna", en Ferreirós, J., Durán, A. (eds.) 2003. *Matemáticas y Matemáticos*. Sevilla: Universidad de Sevilla, pp. 57-84.
- Manktelow, K., Chung, Man Cheung (eds.). 2004. *Psychology of Reasoning: Theoretical and Historical Perspectives*. Hove and New York: Psychology Press.
- Maturana, H. 1995-1996. *La Realidad ¿Objetiva o Construida?* Barcelona: Anthropos, Universidad Iberoamericana (ITESO), 2 vols.
- Maturana, H.; Varela, F. 1989. *El Árbol del Conocimiento*. Madrid: Debate.
- Martínez, S. F., Suárez, E. 1996. "La Evolución de Técnicas y Fenómenos. Hacia una Explicación de la 'Confección' del Mundo". *Crítica: Revista Hispanoamericana de Filosofía*, 82, pp. 25-66.
- Marr, D. 1982. *Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*. San Francisco: W. H. Freeman.
- Mason, S. F. 2001. *Historia de las Ciencias*, 5 vols. Madrid: Alianza.
- Mauss, M. 1934. "Las técnicas del cuerpo", en A. J. Crary y S. Kwinter (eds.). 1996. *Incorporaciones*. Madrid: Cátedra, pp. 385-408.
- Maxwell, J. C. 2006. *Escrits científics i d'assaig*. Barcelona: Pòrtic.
- McClelland, J. L.; Rumelhart, D. E.; Hinton, G. E. 1986. "El atractivo del procesamiento distribuido en paralelo", en Rumelhart, D. E.; McClelland J. L. y el grupo PDP. 1992. *Introducción al Procesamiento Distribuido en Paralelo*. Madrid: Alianza, pp. 39-80.
- Minsky, M. 1974. "A Framework for Representing Knowledge", en Haugeland, J. 1997. *Mind Design II: Philosophy, Psychology, Artificial Intelligence*. Cambridge: MIT Press, pp. 111-142.

- Minsky, M. 1981. “Líneas K: una teoría de la memoria”, en Norman”, D. A. 1987. *Perspectivas de la ciencia cognitiva*. Barcelona: Paidós, pp. 109-128.
- Mitcham, C. 1989. *¿Qué es la Filosofía de la Tecnología?*. Barcelona: Anthropos.
- Molander, B. 2008. “Have I kept inquiry moving? On the Epistemology of Reflection”. *Phenomenology and Practice*, 2, pp. 4-23.
- Morgan, M. 2007. “Experimentos frente a Modelos: Fenómenos Nuevos, Inferencia y Sorpresa”. Ponencia presentada en las *Jornadas sobre Observación y Experimentación en la Ciencia: Nuevas perspectivas metodológicas*, 8 y 9 de marzo de 2007.
- Morus, I. R. 2004. *Michael Faraday and the electrical century*. Cambridge: Icon.
- Naylor, R. H. 1989. “Galileo’s experimental discourse”, en Gooding, D.; Pinch, T.; Schaffer, S. (eds.). 1989. *The Uses of experiment: studies in the natural sciences*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 117-134.
- Neisser, U. 1981. *Procesos Cognitivos y Realidad: principios e implicaciones de la psicología cognitiva*. Madrid: Marova.
- Nersessian, N. 1984. *Faraday to Einstein: constructing meaning in scientific theories*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Nersessian, N. 1992. “How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science”, en Giere, R. (ed.). 1992. *Cognitive models of science*. Minneapolis: University of Minnesota, pp. 3-44.
- Nersessian, N. 1995. “Opening the Black Box: Cognitive Science and the History of Science”. *Osiris 2nd Series, v. 10, Constructing Knowledge and the History of Science*, pp. 194-211.
- Netz, R. 1999. *The Shaping of Deduction in Greeks Mathematics: a study in cognitive history*. Cambridge UK: Cambridge University Press.
- Newell, A. 1981. “Sistemas físicos de símbolos”, en Norman, D. A. 1987. *Perspectivas de la ciencia cognitiva*. Barcelona: Paidós, pp. 51-108.
- Newell, A.; Simon, H. 1974. “Computer Science as Empirical Inquiry”, en Haugeland, J. 1997. *Mind Design II: Philosophy, Psychology, Artificial Intelligence*. Cambridge: MIT Press, pp. 81-110.
- Newton, I. 1996. *El sistema del mundo*. Barcelona: Círculo de Lectores.
- Newton, I. 2010. *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural*. Madrid: Alianza.
- Newton-Smith, W. H. 2000. *A Companion to Philosophy of Science*. Oxford: Blackwell.
- Nieto-Galán, A. 2001. *La Seducción de la Máquina: vapores, submarinos e inventores*. Madrid: Nivola Libros y Ediciones.
- Noë, A. 2004. *Action in Perception*. Cambridge: MIT Press.
- Noë, A. 2010. *Fuera de la Cabeza: por qué no somos nuestro cerebro y otras lecciones de biología de la conciencia*. Barcelona: Kairós.
- Norman, D. A. (ed.). 1987. *Perspectivas de la ciencia cognitiva*. Barcelona: Paidós.
- Norman, D. A. 1993. *Things that Make Us Smart: defending human attributes in the age of machine.* New York: Basic Books.

- Norman, D. A. 1998. *La Psicología de los Objetos Cotidianos*. San Sebastián: Nerea.
- Norman, D. A. 1999. "Affordance, Conventions and Design". *Magazine Interactions*, 6, pp. 38-43.
- Norman, D. A. 2005. *El Diseño Emocional: por qué nos gustan (o no) los objetos cotidianos.* Barcelona: Paidós.
- Nowak, G.; Thagard, P. 1992. "Copernicus, Ptolemy, and Explanatory Coherence", en Giere, R. (ed.). 1992. *Cognitive models of science*. Minneapolis: University of Minnesota, pp. 274-309.
- Ordóñez, J. 2003. *Ciencia, Tecnología e Historia*. Madrid: Fondo de Cultura Económica de España.
- Ovejero, F. 1987. *Memoria de proyecto docente*. Barcelona.
- Pacheco, D. 1892. *Esmeraldo de situ orbis*. Lisboa: Imprensa Nacional.
- Pervin, L. A. 1998. *La Ciencia de la Personalidad*. Madrid: McGraw Hill.
- Pfeifer, R.; Iida, F. 2005. "Morphological Computation: connecting body, brain and environment". *Japanese Scientific Monthly*, v. 58, nº 2, pp. 48-54.
- Pickering, A. 1984. *Constructing quarks: a sociological history of particle physics*. Chicago: University.
- Pickering, A. 1989. "Living in the material world", en Gooding, D.; Pinch, T.; Schaffer, S. (eds.). 1989. *The Uses of experiment: studies in the natural sciences*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 275-298.
- Pickering, A.; Stephanides, A. 1989. "Constructing Quaternions: On the Analysis of Conceptual Practice", en Gooding, D.; Pinch, T.; Schaffer, S. (eds.). 1989. *The Uses of experiment: studies in the natural sciences*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 139-167.
- Pickering, A. (ed.). 1992. *Science as practice and culture*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Pickering, A. 1995a. "Beyond Constraint: The Temporality of Practice and the Historicity of Knowledge", en Buchwald, J. Z. (ed.). 1995. *Scientific practice: theories and stories of doing physics*. Chicago: The University of Chicago Press, pp. 42-55.
- Pickering, A. 1995b. *The mangle of practice: agency, time and science*. Chicago, London: Chicago University Press.
- Portides, D. 2008. "Models", en Psillos, S., Curd, M. (eds.). 2008. *The Routledge Companion to the Philosophy of Science*. London: Routledge, pp. 385-395.
- Putnam, H. 1960. "Mind and Machines", en Hook, S. 1960. *Dimensions of mind: a Symposium*. Nueva York: New York University Press, pp. 148- 169.
- Pylyshyn, Z. 1988. *Computación y conocimiento*. Madrid: Debate.
- Quine, W. V. O. 1959. *Methods of Logic*. Rev. ed. New York: Holt, Rinehart, and Wilson.
- Quine, W. V. O. 1968. *Palabra y Objeto*. Barcelona: Labor.
- Quine, W. V. O. 1974. *Relatividad Ontológica y otros ensayos*. Madrid: Tecnos.

- Quintanilla, M. A. 1989. *Tecnología: un Enfoque Filosófico*. Madrid: Fundesco.

- Radder, H. 1995. "Experimenting in the Natural Science", en Buchwald, J. Z. (ed.). 1995. Scientific practice: theories and stories of doing physics. Chicago: The University of Chicago Press, pp. 151-169.

- Radder, H. 2003a. "Toward a more Developed Philosophy of Scientific Experimentation", en Radder, H. (ed.). *The Philosophy of Scientific Experimentation*. Pittsburg: Pittsburg University Press, pp. 1-18.

- Radder, H. 2003b. "Technology and Theory in Experimental Science", en Radder, H. (ed.). *The Philosophy of Scientific Experimentation*. Pittsburg: Pittsburg University Press, pp. 153-173.

- Reason, J. 1990. *Human Error*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Redondo, I., González del Solar, R, Delgado, M. 2012. "Introducción" al apartado "Error y Cognición" en Victoria Camps, Anna Estany y Mercè Izquierdo (eds.). 2012. *Error y conocimiento: la gestión de la ignorancia*. Editorial Comares, pp. 249-256.

- Redondo, I., 2009. "El papel de las combinaciones conceptuales en los diseños experimentales", *Actas del VI Congreso de la Sociedad de Lógica y Filosofía de la Ciencia en España* (SLMFCE): 18-21 de noviembre / coord. Por Jesús Alcolea, Valeriano Iranzo, Ana Sánchez, Jordi Valor, 2009, ISBN 978-84-370-7655-3, pp. 405-408 (recopilación de los contenidos presentados en el "VI Congreso de la SLMFCE" realizado en 2009 en Valencia).

- Redondo, I., en Prensa, "La complejidad de la mente: Más allá de la Metáfora del Ordenador" (recopilación de los contenidos presentados en las "XV Jornadas sobre Filosofía y Metodología Actual de la Ciencia", titulado "Jornadas sobre Creatividad, Innovación y Complejidad en la Ciencia", realizadas en la Universidade Da Coruña, en 2010, los días 11 y 12 de marzo).

- Redondo, I. 2011. "Ciencias cognitivas y Tai Chi". *Revista Enrahonar*, No. 47, pp. 105-138.

- Redondo, I., 2011. "Reseña del libro de Owen Flanagan, "The Really Hard Problem": meaning in a material world". Cambridge: MIT Press, 2007". *Revista Enrahonar*, No 47, pp. 253-258.

- Redondo, I. 2011. "Reflexión filosófica a través del diálogo en un juego de rol", en José Barrientos Rastrojo y Joan Méndez Camarasa, *Filosofía y Espacios Sociales*, Visión Libros, Madrid, pp. 157-168.

- Redondo, I. 2011. Presentación del Póster "Enactivism and Philosophy of Science: Going Beyond Kuhnian's Theoreticism" en el *Workshop on embodied, distributed and extended cognition*, organizado por TecnoCog (Technology and Cognition Research Group), los días 24 y 25 de Marzo de 2011, en el Departamento de Filosofía de la UAB.

- Redondo, I., 2011. Participación en la mesa redonda entorno a la temática de los límites de la teoría de l' "embodied mind", en el *Workshop on embodied, distributed and extended cognition*, organizado por TecnoCog (Technology and Cognition Research Group), los días 24 y 25 de Marzo de 2011, en el Departamento de Filosofía de la UAB.

- De Regt, H. W. 2004. "Discussion Note: Making Sense of Understanding". *Philosophy of Science*, 71, pp. 98-109.

- Renfrew, C., Frith, C., y Malafouris, L. (eds) (2009), *The Sapient Mind: Archaeology meets neuroscience*. Oxford: Oxford University Press.

- Rheinberger, H-J. 1993. *Toward a history of epistemic things: synthesizing proteins in the test tube*. Stanford: Stanford University Press.

- Rizzolatti, G., Sinigaglia, C. 2006. *Las Neuronas Espejo: los mecanismos de la empatía emocional*. Barcelona: Paidós.

- Rorty, R. 1990. *El Giro Lingüístico: dificultades metafilosóficas de la filosofía lingüística*. Barcelona: Paidós.

- Rosenzweig, M. R., Breedlove, S. M., Watson, N. V., 2005. *Psicobiología. Una introducción a la Neurociencia Conductual, Cognitiva y Clínica*. Barcelona: Ariel.

- Rothbart, D. 2003. "Designing Instruments and the Design of Nature", en Radder, H. (ed.). *The Philosophy of Scientific Experimentation*. Pittsburg: Pittsburg University Press, pp. 236-255.

- Rumelhart, D. E. 1989. "The Architecture of Mind: A Connectionist Approach", en Haugeland, J. 1997. *Mind Design II: Philosophy, Psychology, Artificial Intelligence*. Cambridge: MIT Press, pp. 205-232.

- Rumelhart, D. E.; Smolensky, R.; McClelland, J. L.; Hinton, G. E. 1986. "Esquemas y procesos de pensamiento secuencial en los modelos PDP", en Rumelhart, D. E.; McClelland J. L. y el grupo PDP. 1992. *Introducción al Procesamiento Distribuido en Paralelo*. Madrid: Alianza, pp. 253-298.

- Russell, B. 1919. "La filosofía del atomismo lógico", en Muguerza, J. 1981. *La concepción analítica de la filosofía*. Madrid: Alianza, pp. 139-251.

- Sacks, O. 2001. *Un Antropólogo en Marte: siete relatos paradójicos*. Barcelona: Anagrama.

- Sáiz Roca, D. et al. 2006. *Psicologia de l'atenció i de la memòria*. Editorial UOC.

- Sánchez Ron, J. M. 2005. *El Cánon de la Ciencia*. Barcelona: Crítica.

- Santesmases, M. J. 2002. "¿Artificio o Naturaleza? Los experimentos en la historia de la biología". *Theoria*, v. 17/2, nº 44, pp. 265-289.

- Sanz, R.; Gómez, J.; Hernández, C.; Alarcón, I. 2008. "Thinking with the Body: Towards Hierarchical Scalable Cognition", en Paco Calvo y Toni Gomila (eds.) 2008. *Handbook of Cognitive Science: An Embodied Approach*. Amsterdam: Elsevier.

- Schank, R. C. 1981. "Lenguaje y memoria", en Norman, D. A. 1987. *Perspectivas de la ciencia cognitiva*. Barcelona: Paidós, pp. 129-178.

- Schwartz, J. M., Begley, S. 2002. *The Mind and the Brain: Neuroplasticity and the Power of Mental Force*. New York: Regan Books.

- Shapere, D. 1982. "The Concept of Observation in Science and Philosophy". *Philosophy of Science*, 49, pp. 485-525.

- Shapin, S.; Schaffer, S. 1985. *Leviathan end the Air-pump: Hobbes, Boyle and the experimental life*. Princeton: Princeton University Press.

- Sheets-Johnstone, M. 1999. "Emotion, and Movement: A beginning empirical-phenomenological analysis of their relationship", en Núñez, R.; Freeman, W. J. 1999. *Reclaiming Cognition: the primacy of action, intention and emotion*. Thorverton: Imprint Academic, pp. 259-277.

- Simon, H. 1981. “Ciencia cognitiva: la más nueva ciencia de lo artificial”, en Norman, D. A. 1987. *Perspectivas de la ciencia cognitiva*. Barcelona: Paidós, pp. 25-40.
- Simon, H. 2006. *Las ciencias de lo artificial*. Granada: Comares.
- Skinner, B. F. 1981. *Conducta Verbal*. México: Trillas.
- Smolensky, P. 1989. “Connectonist Modeling: Neural Computation / Mental Connections”, en Haugeland, J. 1997. *Mind Design II: Philosophy, Psychology, Artificial Intelligence*. Cambridge: MIT Press, pp. 233-250.
- Solís, C. 1994. *Razones e intereses*. Barcelona. Paidós.
- Spivey, M. 2007. *The Continuity of Mind*. New York: Oxford University Press.
- Steinle, F. 1997. “Entering New Fields: Exploratory Uses of Experimentation”, *Philosophy of Science*, 64, pp. 65-74.
- Steinle, F. 2002a. “Experiments in History and Philosophy of Science”. *Perspectives on Science*, v. 10, nº 4, pp. 408-432.
- Steinle, F. 2002b. “Challenging established concepts: Ampère and exploratory experimentation”. *Theoria*, v. 17/2, nº 44, pp. 291-316.
- Stufflebeam, R. S., Bechtel, W. 1997. “PET: Exploring the Myth and the Method“. *Philosophy of Science*, 64, pp. 95-106.
- Suppe, F. 1974. *The Structure of Scientific Theories*. Chicago: University of Illinois Press.
- Spivey, M. 2007. *The Continuity of Mind*. Oxford: Oxford University Press.
- Teller, P. 2008. “Representation in Science”, en Psillos, S., Curd, M. (eds.). 2008. *The Routledge Companion to the Philosophy of Science*. London: Routledge, pp. 435-441.
- Thagard, P. 2005. *Mind: introduction to cognitive science*. Cambridge: MIT Press.
- Thagard, P. 2008. “Cognitive Science”, en Psillos, S., Curd, M. (eds.). 2008. *The Routledge Companion to the Philosophy of Science*. London: Routledge, pp. 531-542.
- Thelen, E.; Smith, L. B. 1994. *A Dynamic systems approach to the development of cognition and action*. Cambridge: MIT Press.
- Thompson, E. 2007. *Mind in Life: biology, phenomenology, and the sciences of mind*. Cambridge: Harvard University Press.
- Thompson, E., Stapleton, M. 2009. “Making Sense of Sense-Making: Reflections on Exactive and Extended Mind Theories”. *Topoi*, 28, pp. 23-30.
- Tipler, P. A. 2010. *Física para la Ciencia y la Tecnología*, 2 vols. Barcelona: Reverté.
- Tomasello, M. 1999. *The Cultural Origins of Human Cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Trumpler, M. 1997. “Verification and Variation: Patterns in Experimentation in Investigations of Galvanism in Germany, 1790-1800”, *Philosophy of Science*, 64, pp. 75-84.
- Tucker, D. M. 2007. *Mind From Body: Experience from Neural Structure*. Oxford: Oxford University Press.

- Turing, A. M. 1950. “Computing Machinery and Intelligence”, en Haugeland, J. 1997. *Mind Design II: Philosophy, Psychology, Artificial Intelligence*. Cambridge: MIT Press, pp. 29-56.
- Uttal, W. R. 2007. *The Immeasurable Mind: the real science of psychology*. New York: Prometheus Books.
- Van Gelder, T. 1996. “Dynamics and Cognition”, en Haugeland, J. 1997. *Mind Design II: Philosophy, Psychology, Artificial Intelligence*. Cambridge: MIT Press, pp. 421-450.
- Van Gelder, T. 1998. “The dynamical hypothesis in cognitive science”. *Behavioral and Brain sciences*, 21, pp. 615-665.
- Van Orden, G. C., Paap, K. R., 1997. “Functional Neuroimages Fail to Discover Pieces of Mind in the Parts of the Brain”. *Philosophy of Science*, 64, pp. 85-94.
- Varela, F. 1990. *Conocer las ciencias cognitivas*. Barcelona: Gedisa.
- Varela, F. 1999. *Ethical Know-How: Action, Wisdom and Cognition*. California: Stanford University Press.
- Varela, F.; Thompson, E.; Rosch, E. 1991. *The Embodied mind. Cognitive science and human experience*. Cambridge: MIT Press.
- Vega Reñón, L. “Euclides y Arquímedes: ¿tradición versus invención?”, en Ferreirós, J., Durán, A. (eds.) 2003. *Matemáticas y Matemáticos*. Sevilla: Universidad de Sevilla, pp. 13-38.
- Velmans, M., Schneider, S. (eds.). 2007. *The Blackwell Companion to Consciousness*. Malden: Blackwell.
- Vernant, J. P. 1987. *Mito y Sociedad en la Grecia Antigua*. México: Siglo XXI.
- Vygotskii, L. S. 2003. *El Desarrollo de los Procesos Cognitivos Superiores*. Barcelona: Crítica.
- De Waal, F., Thompson, E. 2005. “Primates, Monks and the Mind: the Case of Empathy”, *Journal of Cosciousness Studies*, 12 (7), pp. 38-54.
- Wacquant, L. 2004. *Entre las cuerdas. Cuadernos de un aprendiz de boxeador*. Madrid: Alianza.
- Wallace, B. A. 2006. *The Attention Revolution*. Boston: Wisdom Publications.
- Watson, J. B. 1930. *Behaviorism*. Nueva York: Norton.
- Welton, D. *The Other Husserl: the Horizons of Trascendental Phenomenology*. Bloomington: Indiana University Press.
- Wheeler, M. 2008. “Mind, Things and Materiality”, en C. Renfrew y L. Malafouris (eds.), *The Cognitive Life of Things: Recasting the Boudaries of the Mind*. Cambridge: McDonald Institute for Archeological Research Publications.
- Wheeler, M. 2010. “In Defense of Extended Functionalism”, en Menary (ed.). 2010. *The Extended Mind*. Cambridge: Massachussets Institute of Technology.
- Whitehead, A. N.; Russell, B. 1927. *Principia Mathematica*. Cambridge: MIT Press.

- Wilson, R. A. 2004. *The Boundaries of the Mind: the individual in the fragile sciences: cognition*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Wilson, R. A., Clark, A. 2009. “How to Situate Cognition: Letting Nature Take its Course”, en Aydede, M., Robbins, P. (eds.). *The Cambridge Handbook of Situated Cognition*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Winograd, T. 1981. “¿Qué significa comprender el lenguaje?”, en Norman, D. A. 1987. *Perspectivas de la ciencia cognitiva*. Barcelona: Paidós, pp. 275-314.

- Winograd, T., Flores, F. 1987. *Understanding Computers and Cognition*. Reading: Addison-Wesley Publishing Company.

- Wittgenstein, L. 1981. *Tractatus logico-philosophicus*. Barcelona: Laia.

- Wittgenstein, L. 1997. *Investigacions Filosòfiques*. Barcelona: Edicions 62.

- Worrall, J. 1989. “Fresnel, Poisson and the white spot: the role of successful predictions in the acceptance of scientific theories”, en Gooding, D.; Pinch, T.; Schaffer, S. (eds.). 1989. *The Uses of experiment: studies in the natural sciences*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 135-158.

- Ziman, J. 1986. *Introducción al Estudio de las Ciencias: Los aspectos filosóficos y sociales de la ciencia y la tecnología*. Barcelona: Ariel.

- Zubiri, X. 1994. *El Hombre y Dios*. Madrid: Alianza.

- Zwaan, R. A. “Experiential Traces and Mental Simulations in Language Comprehension”, en Glenberg, A. M., de Vega, M., Graesser, A. (eds.). 2008. *Symbols and Embodiment.* Oxford: Oxford University Press.