

---

# La ciencia más objetiva y menos natural: laboratorios, instrumentos y simulaciones

---

Grado en Filosofía

Curso 2014-2015

Alumna: María García Tímermans  
Tutor: Jesús Sánchez Navarro

## Índice

|  |    |
|--|----|
| 1. Introducción  | 1  |
| 2. Antecedentes  | 2  |
| 2.1 Las teorías como representaciones                                      | 4  |
| 2.2 La construcción inicial de la base empírica                            | 5  |
| 2.3 Un caso ejemplar: Eratóstenes  | 6  |
| 2.4 Los problemas de la fiabilidad y la persistencia de los errores        | 8  |
| 3. Estado actual   |    |
| 3.1 De las descripciones científicas a los laboratorios y los instrumentos | 10 |
| 4. Discusión y posicionamiento   |    |
| 4.1 Laboratorios   | 12 |
| 4.2 Instrumentos   | 18 |
| 5. Conclusión y vías abiertas  | 29 |
| 6. Bibliografía  | 33 |

## **1. Introducción**

La ciencia y el conocimiento ordinario mantienen una relación paradójica. Si bien la ciencia surge a partir de la experiencia ordinaria y el conocimiento natural, las afirmaciones de la ciencia contemporánea resultan con frecuencia incomprensibles, o cuando menos sorprendentes, para cualquiera que no posea una buena educación científica. Y desde luego difieren profundamente de nuestra experiencia ordinaria con la que no parecen tener la más mínima relación. En este trabajo analizaremos cómo se ha producido ese distanciamiento, y defenderemos que su causa última está en la forma en que funciona la ciencia, en la práctica científica, y especialmente en el papel que juegan los dos componentes fundamentales de esta práctica, los laboratorios y los instrumentos, a la hora de construir la base empírica. Mantendremos que estos dos elementos dan lugar a un ascenso empírico que ha ido distanciando la experiencia científica de la experiencia ordinaria hasta perder todo contacto con ella.

Primero haremos una breve descripción sobre cómo se construye la base empírica de la ciencia a partir de conjuntos de datos obtenidos por aislamiento e idealización para dar lugar a los ‘hechos científicos’. Para ello, utilizaremos la Concepción Semántica de las teorías científicas como representaciones siguiendo a Van Fraassen, y la aplicaremos a la forma en que se construía la base empírica en los comienzos de la ciencia griega, analizaremos el caso de Eratóstenes como ejemplo representativo y señalaremos los problemas de la fiabilidad y la persistencia de los errores.

Expondremos después cómo cambia la situación en la Revolución Científica con la exigencia de que sean los propios científicos quienes lleven a cabo directamente todo el proceso de construcción de la base empírica de forma reglada, normalizada y contrastada. Eso convierte a la experimentación en el núcleo del conocimiento científico rompiendo el contacto con la experiencia ordinaria, y pone a los laboratorios y los instrumentos en el centro de la práctica científica.

A continuación analizaremos las características de los laboratorios como espacios aislados, controlados y normalizados sustitutivos de la naturaleza y su papel en la sustitución de los hechos de la experiencia ordinaria por los ‘hechos científicos’ y el ascenso empírico consiguiente.

Tras los laboratorios, nos centraremos en los instrumentos científicos y en la forma en que incrementan la base empírica dando lugar a sucesivos ascensos empíricos hasta perder completamente el contacto con la experiencia ordinaria. Distinguiremos tres tipos fundamentales de instrumentos por el tipo de datos que obtienen y después otros tres tipos por el conocimiento que incorporan, para acabar con dos grandes categorías según la relación existente entre ese conocimiento incorporado y los datos que obtienen. En todos los casos, iremos señalando cómo generan ascensos empíricos hasta llegar a separación de la experiencia ordinaria.

Finalmente, concluiremos con algunas reflexiones consecuencia de este trabajo.

## **2. Antecedentes**

En una comunicación aparecida en la sección de Apuntes sobre novedades del último número de la revista de divulgación científica Investigación y Ciencia<sup>1</sup> puede leerse:

“Hay algo en el cosmos que no podemos ver ni tocar; sólo sabemos que existe por el efecto gravitatorio que ejerce sobre las grandes estructuras cósmicas. Desde hace años, los únicos resultados sobre la naturaleza de la materia oscura se han limitado a revelar lo que no es... Este triste discurrir dio un giro esperanzador hace unos meses. Un grupo de astrónomos ha obtenido resultados que apuntan a una intrigante posibilidad: la existencia de una nueva interacción entre partículas de materia oscura... La pista apareció en las observaciones del cúmulo de galaxias Abell 3827. Gracias al efecto de lente gravitacional (la desviación que sufren los rayos de luz cuando pasan cerca de un objeto de gran masa), los investigadores consiguieron inferir la distribución de materia oscura entre cuatro galaxias en proceso de colisión. Las observaciones del telescopio espacial Hubble y del VLT, en Chile, indicaron que la materia oscura de al menos una de ellas se encontraba considerablemente rezagada con respecto a la materia visible. El fenómeno apuntaría a la existencia de una interacción entre partículas de materia oscura, la cual generaría una especie de “rozamiento interno” que las frenaría. Es la primera vez que se observa algo semejante... Si al final las nuevas observaciones se quedan en nada, Abell 3827 se convertirá en un ejemplo más de lo que la materia oscura no es. Mientras, los experimentos subterráneos que intentan detectar las

---

<sup>1</sup> Moskowitz, C. (2015), p. 6-7.

misteriosas partículas a su paso por la Tierra siguen sin ver nada. Y aunque, con suerte, el LHC podría alcanzar la energía necesaria para crearlas, por el momento tampoco han aparecido allí. Con todo, los expertos no pierden la esperanza. Tras dos años de parada técnica, el acelerador se puso de nuevo en marcha en abril. Sus detectores son ahora sumamente sensibles y la energía de las colisiones batirá en breve todos los records. ‘La materia oscura se nos ha escapado muchas veces, pero nunca antes habíamos tenido tantos datos como los que tendremos ahora.’”

Sencillamente impresiona, aunque semejante texto no es excepcional, sino que constituye un simple ejemplo de los muchos que aparecen en cada número de este tipo de revistas acerca de investigaciones científicas en curso. La impresión sería mucho más profunda si se recurre a revistas profesionales altamente especializadas, como *Science* o *Nature*. Al leerlo sólo cabe constatar algo que ya sabíamos: que la ciencia es una forma de conocimiento muy poderosa capaz de penetrar en los aspectos más recónditos de la realidad, descubrir su estructura íntima y elaborar un relato perfectamente consistente acerca de sus propiedades y comportamiento. Pero también produce desasosiego, porque no hay nada en el texto que tenga la más mínima relación con nuestra experiencia ordinaria. No ya la materia oscura ‘que no podemos ver ni tocar’, ni las supuestas partículas WIMP que la componen y que se pretenden crear con el LHC, sino las mismas galaxias en colisión en Abell 3827 están fuera de nuestra experiencia ordinaria. A lo sumo, podríamos observar ciertos registros y valores numéricos en ordenadores conectados al LHC y alguna imagen, tomada en blanco y negro y coloreada automáticamente en falso color, junto con lecturas de datos del corrimiento del espectro registradas en otros ordenadores conectados al Hubble y al VLT de Chile. Y esto con la ayuda de un experto que guíe nuestra observación. Se supone que estos datos provienen de la experiencia, pero no, desde luego, de la experiencia ordinaria, sino de la experiencia científica. Es cierto que la ciencia surgió como un intento de explicar y comprender la experiencia ordinaria, la visión del mundo del sentido común, pero el desarrollo del conocimiento científico a lo largo de la historia ha ido provocando un distanciamiento creciente entre ambas, distanciamiento que ejemplifica este texto.

En 1967 W. Sellars<sup>2</sup> ya señaló esta situación y distinguió entre la imagen manifiesta, la imagen del mundo que nos proporciona la experiencia ordinaria, y la imagen científica. La

---

<sup>2</sup> Sellars, W. (1967), p. 9 ss.

segunda se construiría a partir de la primera y los conflictos entre ellas, o su distanciamiento, se resolverían porque la imagen científica recuperaría la objetividad perdida por la manifiesta y daría cuenta de ella. Sin embargo, Sellars estaba interesado fundamentalmente en la imagen manifiesta y no dedicó mucha atención a la estructura de la imagen científica o a la relación precisa entre ambas. En 1980 Van Fraassen<sup>3</sup> recuperó la cuestión en un libro que se ha convertido en clásico y cuyo título, *La imagen científica*, era un reconocimiento y un guiño de complicidad a la propuesta de Sellars, aunque llegaba a resultados bastante diferentes. En su libro, Van Fraassen buscaba aclarar la naturaleza y la estructura de la imagen científica y dio lugar a una concepción de las teorías científicas radicalmente diferente de la concepción enunciativa hasta entonces dominante y a la que se llamó concepción semántica de las teorías<sup>4</sup>. Al combinarse con la concepción estructuralista que estaban desarrollando paralelamente Sneed y Stegmüller<sup>5</sup>, dio lugar a una forma de entender las teorías como representaciones que permite explicar la relación y el distanciamiento entre la experiencia ordinaria y el conocimiento científico. Utilizándola podremos entender la sospecha que nos asalta al leer el texto citado de que la ciencia actual parece cerrada sobre sí misma y más interesada en dar cuenta de sus propios resultados que en nuestra experiencia ordinaria. La razón estaría en la naturaleza misma de la imagen científica, en la forma en que se construye la base empírica y, en general, en la propia práctica científica, y no sería más que el resultado de la evolución histórica de la ciencia.

## **2.1 Las teorías como representaciones**

Las teorías son conjuntos de modelos parte de los cuales, la subestructura empírica, es la que está relacionada con la base empírica; el resto del modelo funciona como explicación y representación teórica<sup>6</sup>. La base empírica no son directamente los hechos de la experiencia ordinaria, sino conjuntos de datos obtenidos de forma compleja y en circunstancias especiales, y consisten en registros de mediciones, lecturas de aparatos, anotaciones de laboratorio, etc., lo que ya les aleja de la experiencia ordinaria, aunque supuestamente están anclados en ella. Estos datos son interpretados y correlacionados en modelos de datos articulados que constituyen la base empírica genuina a que se aplican las

---

<sup>3</sup> Van Fraassen, B.C. (1980)

<sup>4</sup> El desarrollo de esta concepción de las teorías se achaca conjuntamente a Van Fraassen (1980) y Giere (1979)

<sup>5</sup> Sneed, J.D. (1971) y Stegmüller, W. (1973) son las obras fundacionales de la concepción estructuralista de las teorías.

<sup>6</sup> Van Fraassen (1980), p. 89 ss.

teorías<sup>7</sup>. Un ejemplo obvio es un mapa, una representación cartográfica, donde los mismos datos se pueden articular de manera diferente según la proyección que se utilice; por ejemplo, la proyección en clámide de Ptolomeo o la proyección de Mercator. Si estos modelos de datos comparten estructura y tienen elementos comunes<sup>8</sup> se unifican como leyes fenomenológicas o empíricas, es decir, generalizaciones supuestamente obtenidas a partir de la experiencia y que son representaciones ideales de los ‘hechos científicos’<sup>9</sup>. Un ejemplo característico son las leyes de Kepler. De este modo, hay una clara distinción entre hechos de la experiencia ordinaria y ‘hechos científicos’. Aunque inicialmente hay una relación entre ellos, esta se va atenuando a medida que se va desarrollando la ciencia; se profundiza en la excavación de datos y los hechos de la experiencia son sustituidos o suplantados por ‘hechos científicos’ que se convierten así en el origen de nuevos datos. Éstos, a su vez, dan lugar a ‘hechos científicos’ de un nivel más alto o más profundo, una especie de ‘escalón superior’ que a su vez será la base para la obtención de nuevos datos, los cuales darán lugar a otro escalón aún más alto, convirtiéndose cada uno de estos escalones superiores en un punto de no retorno<sup>10</sup>, en la base empírica reconocida en ese momento, y asumiendo la previa como algo dado. En todo este proceso juega un papel fundamental la práctica científica, el recurso a medios y técnicas de obtención de datos que se van implementando y complejizando constantemente, como los laboratorios, los instrumentos, las simulaciones, etc. Así, la base empírica de la ciencia se va alejando gradual y continuamente de la experiencia ordinaria, hasta llegar un momento en que pierde todo contacto con ella y se cierra sobre sí misma. Por ello, algunos filósofos consideran que más que de representaciones habría que hablar de ficciones<sup>11</sup>.

## **2.2 La construcción inicial de la base empírica**

¿Cómo comienza este proceso? es decir ¿cómo se obtienen los datos y se construye la base empírica a partir de la experiencia ordinaria en las primeras etapas de una disciplina científica? El punto de partida serían los hechos de la experiencia ordinaria o sus

---

<sup>7</sup> Van Fraassen (1980), p. 68 los llama ‘apariencias’; Sneed (1971), p. 41, y Stegmüller (1973), p. 92, Mpp (Modelos potenciales parciales).

<sup>8</sup> Stegmüller (1979), p. 35 ss. los llama condiciones de ligadura –c- y restrictores –r-

<sup>9</sup> Cartwright (1983), p. 18 ss., los llama ‘simulacros’ e insiste en que su explicación exige la combinación de diferentes leyes fundamentales, es decir, de modelos ‘teóricos’ y, aun así, siempre será aproximada e idealizada.

<sup>10</sup> Hacking (1983), p. 291 ss. y sobre todo Hacking (1999), cap. 3

<sup>11</sup> Ya lo hacía Cartwright (1983), p. 151 ss. aunque entendiéndolos como simulacros, pero recientemente lo han vuelto a proponer Barberousse & Ludwig (2009) como alternativa a las representaciones de Van Fraassen (2008)

descripciones inicialmente llevadas a cabo por legos, observadores no científicos, sean narraciones de testigos del suceso, registros sacerdotales, informes de viajeros, descripciones de estados de enfermos, etc. El primer paso consiste en la identificación de los hechos relevantes y su separación conceptual del contexto y de los otros hechos secundarios con los que se presentan mezclados en la experiencia. Esto es lo que se llama ‘ficción de aislamiento’, es decir, considerar el hecho relevante como aislado, separado de los demás y sin recibir influencia alguna de ellos. El segundo paso es la ‘idealización’, es decir, la identificación y selección de las características fundamentales del hecho ya aislado como si las restantes no existieran. Se obtiene así el ‘esqueleto’ del hecho, sus elementos básicos constituyentes. El paso siguiente es la obtención de datos, es decir, de los distintos valores que toman esas características fundamentales en diferentes situaciones. Por último, esos datos se correlacionan e interpretan articulándose en un modelo de datos que no sólo se considera una buena representación de la realidad, sino que la suplantaría como ‘hecho científico’ y sería la base sobre la que construir o a la que aplicar la teoría (lo que Van Fraassen llama ‘apariencias’). Es obvio que en este proceso es importante la posibilidad de analizar el hecho en situaciones de aislamiento y control, como en un laboratorio o un medio aislado; así como la capacidad de manipularlo, replicarlo y repetirlo a voluntad; y también la observación continuada y la precisión en la determinación de los datos mediante instrumentos, etc., es decir, lo que llamamos experimentación, aunque no es imprescindible en las etapas iniciales de una disciplina científica. En cualquier caso, lo que ahora tenemos delante es la reconstrucción artificial y conceptual de un hecho natural. Los ejemplos abundan en los comienzos de la ciencia en Grecia: la determinación de una órbita planetaria, la construcción de un mapa (ambos en Ptolomeo), el diagnóstico médico en el Corpus Hipocrático, el principio de la hidrostática de Arquímedes, etc...

### **2.3 Un caso ejemplar: Eratóstenes**

Pero quizá donde mejor se observa este proceso es en el cálculo de la circunferencia terrestre por parte de Eratóstenes. Según la versión clásica de Heath<sup>12</sup>, todo comenzó cuando Eratóstenes encontró un papiro en el que un viajero hablaba de Syene, una ciudad egipcia situada en la segunda catarata del Nilo y cerca de Meroé. En el papiro se indicaba, entre otras cosas, que el día del solsticio de verano al mediodía los objetos no daban

---

<sup>12</sup> HEATH, T. L. (1981) p. 390 ss.



sombra y la luz del Sol se reflejaba directamente en el fondo de los pozos. Eratóstenes no había observado ese fenómeno en Alejandría, donde vivía, así que supuso que en el solsticio de verano, el Sol se encontraba directamente sobre Syene, pero no sobre Alejandría. Asumiendo que la distancia entre el Sol y la Tierra fuera enormemente grande, la distinta forma en que los rayos del Sol incidían sobre Syene y Alejandría mostraba que la Tierra era esférica y la diferencia en su ángulo de incidencia determinaría el grado de la curvatura de la Tierra. Midió el valor de este ángulo al mediodía en Alejandría (en Syene tenía que ser 0, dado que los objetos no producían sombra) obteniendo un valor de 7 grados. El método es sencillo: se clava un palo en el suelo perpendicularmente, se distiende una cuerda entre el extremo superior del palo y el extremo de su sombra y se mide el ángulo formado por la cuerda y el palo; se habrá medido así el ángulo de incidencia de los rayos de sol sobre el palo. Puesto que 7 grados es aproximadamente la cincuentadosava parte de la circunferencia, la distancia entre Alejandría y Syene será también 52 veces menor que la circunferencia terrestre. Basta pues con medir la distancia entre ambas ciudades y multiplicarla por 52 para calcular el tamaño de la circunferencia de la Tierra. El procedimiento seguido por Eratóstenes es canónico: se parte de una descripción llevada a cabo por un testigo sin pretensiones científicas, se seleccionan los hechos relevantes y se separan del resto de la descripción, se idealizan utilizando algún procedimiento que los simplifique (la incidencia de los rayos del Sol), se llevan a cabo las mediciones que permiten obtener los datos fundamentales, se interpretan estos datos y se correlacionan entre sí para finalmente obtener el modelo de datos; en este caso la circunferencia de la Tierra y la posición relativa de ambas ciudades en ella. En esta reconstrucción puede verse que hay una clara relación entre cada paso del proceso y el siguiente, pero también es evidente que el punto de partida (una descripción de sucesos que ocurren en Syene) y el resultado final (el tamaño de la circunferencia de la Tierra) son bastante diferentes y es fácil perder la conexión si no se sigue el proceso paso a paso.

Como es natural, todo el proceso se sostiene en la credibilidad de la fuente: el requisito fundamental es que la descripción sea correcta y que quien construye el modelo de datos confíe en ella. Las afirmaciones del papiro sobre Syene podían haber sido erróneas o Eratóstenes podía no haberle dado crédito o haberlo considerado un conjunto de notas sin mayor importancia. A partir de ahí comienza todo el trabajo de construcción científica, lo que podríamos llamar la construcción de una imagen científica a partir de una experiencia manifiesta, un proceso selectivo que no es ni automático, ni inevitable. En el

papiro del viajero se hablaría de otros muchos aspectos de Syene, pero a Eratóstenes sólo le interesó uno y prescindió del resto, aunque desde el punto de vista de la experiencia ordinaria todos fueran igualmente importantes y estuvieran relacionados. Podría haberlo interpretado de otra manera, por ejemplo, como la prueba de que Syene, y Meroé, se encontraban exactamente en el trópico de Cáncer y señalaban el límite geográfico del hemisferio norte antes de entrar a las tórridas tierras ecuatoriales, como hizo Ptolomeo en la *Geographia*. De la misma manera, podía haber relacionado la diferencia en la incidencia de los rayos de sol entre Syene y Alejandría con la diferencia de clima y temperatura entre ambas y, a partir de ahí, la diferente distribución de la fauna y la flora entre los dos ‘climata’, como habría hecho Aristóteles. En todos los casos habría llegado a diferentes modelos de datos, unos acertados y otros erróneos, a partir de la misma descripción de la experiencia ordinaria. Incluso podía haber llevado a cabo las mediciones de otra manera, como por ejemplo el método más intuitivo de medir y comparar directamente el tamaño de la sombra, pero en este caso el resultado, además de farragoso, no habría sido concluyente a menos que se introdujeran más mediciones de otros lugares. E incluso tuvo suerte, o acierto, al recurrir a un registro estandarizado, el de la información militar, para medir la distancia entre Alejandría y Syene. Eso protegió su cálculo contra revisiones posteriores, aunque la fiabilidad del método, consistente en calcular la distancia a partir del tiempo que tarda en recorrerla una unidad militar a marchas forzadas, sea muy discutible. Como puede verse, el paso de la experiencia ordinaria al ‘hecho científico’ es complejo y depende de muchos factores, así que la posibilidad de cometer un error es muy elevada.

#### **2.4 Los problemas de la fiabilidad y la persistencia de los errores**

En estos inicios de la ciencia la relación con la experiencia ordinaria está clara porque el punto de partida son observaciones y descripciones del conocimiento ordinario llevadas a cabo por legos que no son científicos, pero el precio a pagar es una pérdida de fiabilidad y precisión. Hay tres momentos críticos en el proceso. El primero en la descripción inicial que puede ser farragosa, confusa o incompleta. Exige una confianza en las fuentes que no está justificada y que, a la larga, puede resultar equívoca precisamente porque quienes la llevan a cabo son sujetos y testigos ocasionales con fines que no son científicos, sino meramente informativos (p. ej., la ausencia de referencias a novedades celestes más allá de los eclipses en los registros caldeos, que son la base de la astronomía griega, llevó a asumir la inmutabilidad de los cielos; eso no habría ocurrido con los registros chinos que sí las recogen). El segundo momento crítico es la determinación de las

características relevantes, la selección y la obtención de datos. Este proceso no suele ser problemático cuando se dispone de sistemas clasificatorios precisos y elaborados o de una teoría que marca los aspectos relevantes a partir de los cuales obtener los datos. Pero se convierte en un proceso aleatorio y presa del azar si no se dispone de ellos, como ocurre en este periodo (recuérdense, por ejemplo, los problemas de la física aristotélica consecuencia de haber seleccionado la resistencia del medio, en lugar del tiempo, como un factor fundamental del movimiento). El tercer momento afecta a la interpretación y correlación de los datos, aunque en este caso tiene más que ver con la precisión, la exactitud y el rigor, pero que puede tener consecuencias imprevisibles.

A estos problemas se añade otro fundamental, el de la persistencia de los datos a través del tiempo. La obtención de datos y su interpretación y correlación son procesos difíciles y con frecuencia de larga duración. Además, estos procesos requerían confianza en las fuentes, de manera que, una vez obtenidos, se mantenían durante años e incluso siglos con los mínimos reajustes imprescindibles. El resultado era una base empírica básicamente incorregible donde los errores de observación e interpretación persistían a lo largo del tiempo. Todavía hoy mantenemos las agrupaciones de las estrellas observables en constelaciones tal como las llevaron a cabo los sacerdotes caldeos, aunque con su nombre grecolatino, aun sabiendo que son agrupaciones imaginarias y caprichosas de estrellas que no tienen ninguna relación entre sí más allá de su apariencia observada a simple vista y la imaginación del observador. De la misma manera, los registros caldeos son la base de los datos astronómicos usados por Hiparco casi quinientos años después, y otros cuatrocientos años más tarde Ptolomeo utilizó los datos de Hiparco con correcciones mínimas para construir las tablas estelares del Almagesto.

Un ejemplo aún más obvio de esta persistencia es el cálculo del tamaño de la Tierra llevado a cabo por Posidonio<sup>13</sup>. Más obvio porque, en este caso, se trata de la perpetuación de un error. Aunque siguió un proceso semejante al de Eratóstenes, pero utilizando la elevación sobre el horizonte de la estrella Canopus y la distancia entre Rodas y Alejandría, cometió un error en el cálculo de la distancia, o lo cometieron Estrabón y Ptolomeo al transcribir los resultados de Posidonio, lo que le llevó a considerar que el tamaño de la circunferencia terrestre era de 29.000 kilómetros en lugar de los 40.000 calculados por Eratóstenes. Ptolomeo adoptó en su Geografía los cálculos de Posidonio que perduraron

---

<sup>13</sup> Kidd, I.G. (1999), p. 266-7

hasta el siglo XV cuando Toscanelli los utilizó para trazar su mapa, que influyó decisivamente en la opinión de Cristóbal Colón de que el camino occidental hacia las Indias y China era más corto que la ruta portuguesa bordeando África. De manera semejante, las descripciones anatómicas de Galeno, muchas de las cuales las había llevado a cabo a partir de disecciones de perros y monos ante la dificultad para hacer disecciones humanas, se mantuvieron vigentes hasta que Vesalio las expuso en el *De Fabrica*.

### **3. Estado actual**

#### **3.1 De las descripciones científicas a los laboratorios y los instrumentos**

Para resolver estos problemas, y también como parte de la revuelta contra la autoridad científica aristotélica, se propuso durante la Revolución Científica que las descripciones legas de la experiencia ordinaria fueran sustituidas por ‘descripciones científicas’, es decir, descripciones precisas y selectivas llevadas a cabo por científicos a la luz del conocimiento vigente; e incluso eliminar este primer paso y que los propios científicos extrajeran directamente los datos de la experiencia. Esta es la intención del método de composición de Galileo o el método de análisis y síntesis de Newton, diseñar un método mediante el cual el científico mismo obtenga los datos directamente a partir de la observación selectiva, los combine y correlacione para construir los modelos de datos y, llegado el caso, los subsuma en modelos teóricos generales que posteriormente contrastará aplicándolos a nuevos datos empíricos. Lo mismo puede decirse de la insistencia de Vesalio en que el propio médico lleve a cabo las disecciones o de la reivindicación baconiana de un empirismo experimental. Pero no se trata sólo de que sean los propios científicos quienes lleven a cabo las observaciones por sí mismos y obtengan los datos directamente, sino también que las comprueben repitiéndolas cuantas veces sea necesario, replicando los hechos cuando sea posible y garantizando la validez de los datos y su interpretación en lugar de asumirlos como algo dado y aceptado por autoridad. No se trata simplemente de un proceso inductivo, sino de un proceso de creación de la base empírica, de sustituir la mera experiencia pasiva por la experimentación. Por eso, la característica fundamental de la ciencia a partir de la Revolución Científica no es tanto el empirismo cuanto la experimentación.

Esta exigencia de que sean los propios científicos quienes obtengan los datos directamente a partir de la experiencia y de que ellos mismos lleven a cabo las observaciones generando ‘descripciones científicas’ que sustituyan las descripciones del conocimiento ordinario, se convierte en una norma de conducta cuando la asumen las grandes sociedades científicas. Así, la Royal Society sólo aceptará informes y comunicaciones de sus miembros o, cuando menos, avaladas por alguno de ellos<sup>14</sup>. Incluso las descripciones acabarán abandonándose siendo sustituidas por listas de mediciones, colecciones de muestras y catálogos de datos recogidos por científicos para que otros científicos trabajen sobre ellos, algo especialmente notorio en las ciencias naturales, que tendrán un auge extraordinario durante el largo periodo de descubrimiento y colonización llevado a cabo por los europeos hasta mediados del siglo XIX. No habrá viaje de exploración sin su correspondiente equipo científico integrado por cosmógrafos, cartógrafos, naturalistas e incluso dibujantes especializados, por no hablar de las expediciones estrictamente científicas financiadas por los gobiernos europeos y comisionadas por las grandes sociedades científicas, desde las expediciones de Halley o J. Cook hasta el viaje del Beagle.

Las mismas sociedades darán instrucciones precisas acerca de la manera en que debe llevarse a cabo esta recopilación de datos. Así, por ejemplo, en el número de 1771 de *Connaissance des Temps*, revista oficial de la Academie des Sciences, se establecen las condiciones para llevar a cabo la determinación de la longitud mediante el método galileano de los satélites de Júpiter, indicando que para llevar a cabo las observaciones eran necesarios un reloj de péndulo, un telescopio simple de 15 a 18 pies y un cuadrante de madera. A continuación se recogen y generalizan las instrucciones que Cassini, autor de las tablas de los satélites en 1668, dio a los integrantes de la expedición a Cabo Verde de 1681: “Las mejores observaciones para determinar la longitud son las inmersiones y emersiones del primer satélite en o desde su sombra. Antes de la inmersión total se le ve disminuir poco a poco. Si es posible, se deben contar los segundos que pasan desde el momento en que se le empieza a ver disminuir claramente hasta que desaparece por

---

<sup>14</sup> Así aparece en el capítulo 5 de los estatutos de la Royal Society de 1663. Como es obvio, tras este requisito había razones de reconocimiento social, además de científicas. El supuesto era que sólo alguien con una buena formación podía realizar un informe fiable y científicamente correcto. Esta formación sólo podía tenerla un caballero, un gentleman, cuyo interés en la ciencia quedaría probado por su pertenencia a la Royal Society. Por tanto, la pertenencia a la Sociedad garantizaba la fiabilidad del informe. Hunter, M. (1989) y Sturdy, D. J. (1995) recogen importante información sobre la interacción de elementos científicos, sociales y políticos en los primeros tiempos de la Royal Society y la Academie des Sciences, respectivamente.

completo. En el instante en que desaparece se debe empezar a contar de nuevo y si resulta que después de haber empezado a contar vuelve a aparecer, lo que ocurre a veces, se debe volver a comenzar a contar cuando deja de aparecer. Y cuando se está seguro de que ya no aparece se continúa contando hasta ver que el reloj está marcando los segundos. Después se le resta lo que se ha contado desde la última vez que el satélite desapareció y eso es lo principal que debe anotarse”<sup>15</sup>. Se trata de instrucciones normalizadas que puede seguir cualquier observador científico en cualquier parte del mundo. No hace falta que describa nada, simplemente ha de seguir las instrucciones y obtener los datos directamente para que, después, quien centraliza la observación los interprete y correlacione construyendo el modelo de datos, en este caso el gran mapamundi que decoraba la entrada a la Academie des Sciences. Parecen más las instrucciones dadas a un científico trabajando en un observatorio o en un laboratorio que en la naturaleza. Y ese es realmente el objetivo ideal: convertir la naturaleza misma en un laboratorio. Este interés combinado en la experimentación, la observación pautada y normalizada y la obtención directa de muestras y datos pondrá en primer plano dos elementos de la práctica científica que hasta entonces sólo habían jugado un papel secundario: los laboratorios y los instrumentos científicos. Ambos serán fundamentales para el desarrollo de la ciencia a partir de este momento. Pero serán también la causa de la separación definitiva entre la ciencia y la experiencia ordinaria. Aunque laboratorios e instrumentos son inseparables en la práctica científica, es conveniente analizarlos por separado para apreciar mejor la forma en que cada uno contribuye a esa ruptura con la experiencia ordinaria.

## **4. Discusión y posicionamiento**

### **4.1 Laboratorios**

Un laboratorio es un ámbito cerrado y aislado de influencias externas, donde los sucesos están bajo control o pueden ser fácilmente controlados. Estos sucesos producidos artificialmente en el laboratorio pretenden ser réplicas simplificadas de los sucesos reales y pueden ser manipulados y repetidos a voluntad cuantas veces se considere necesario. Puesto que la construcción de la base empírica comienza con la idealización y el aislamiento de los ‘hechos científicos’ es evidente que los laboratorios juegan un papel

---

<sup>15</sup> Recogido en Van Helden, A. (1996), p. 95-96.

fundamental y necesario en este proceso. En última instancia, la ‘descripción científica’ perfecta de un suceso sería la descripción de su replicación en un laboratorio. Pero su importancia va mucho más allá de eso. Observar directamente un suceso ya aislado e idealizado, poder repetirlo a voluntad cuantas veces sea necesario y manipularlo modificando consciente e intencionadamente las circunstancias y las magnitudes de los factores intervinientes, son cuestiones fundamentales para determinar con exactitud los datos y sus valores y, sobre todo, para correlacionarlos e interpretarlos en un modelo de datos. Además, el aislamiento, el control y la replicación simplificada convierten a laboratorios y científicos en intercambiables, de manera que cualquier científico puede reproducir los mismos hechos en cualquier laboratorio. Por eso, ni siquiera es necesaria una ‘descripción científica’ del suceso, sino sólo la información básica para que cada investigador pueda repetirlo por sí mismo, obtener los datos directamente de esa experiencia ‘científica’ y comprobarlos. Esto es lo que se llama ‘normalización’, uno de los mayores logros del trabajo en el laboratorio. Cualquier científico puede llevar a cabo las comprobaciones pertinentes en cualquier laboratorio y eso garantiza la objetividad e intersubjetividad del proceso.

Ahora bien, esos hechos reproducidos en laboratorios tienen ya poco que ver con los hechos brutos de la naturaleza con los que están supuestamente relacionados. Galileo, en su taller-laboratorio, dejando rodar una bola de madera perfectamente pulida a lo largo de un plano inclinado 45 grados, en cuya rampa se ha excavado un canal para que la bola se deslice con el menor rozamiento posible, se han marcado las distancias con precisión y se han situado pequeñas campanillas a intervalos regulares para que las haga sonar al pasar bajo ellas, tiene poca relación con la caída de una piedra en la naturaleza, aunque desde un punto de vista cinemático recoja todos los datos fundamentales de la caída de un grave. Lo que deben explicar y a lo que se aplican los modelos de la teoría es a este hecho de laboratorio y no a los fenómenos naturales de la experiencia ordinaria con los que supuestamente está relacionado. El ‘hecho científico’ producido artificialmente en el laboratorio sustituye a los hechos naturales. Para mantener la conexión entre ambos será necesario introducir aproximaciones sucesivas derivadas de la propia teoría e incluso combinarlas con otras teorías diferentes. Lo que se gana en objetividad se pierde en naturalidad.

Pero el proceso no acaba aquí. En un laboratorio también es posible producir hechos que no tienen relación con la experiencia ordinaria, sea porque no son observables

en dicha experiencia, sea porque no ocurren de manera natural. Piénsese por ejemplo en el experimento de Cavendish para determinar el valor de la constante gravitatoria mediante la atracción entre dos pequeñas bolitas de cobre en condiciones de total aislamiento respecto a la gravedad terrestre o en la descomposición del agua, llevada a cabo por Davy, haciendo pasar una corriente eléctrica por un recipiente lleno de agua y separando el hidrógeno y el oxígeno que se depositan como un material negro en cada uno de los polos. En el primer caso se trata de una aplicación de la ley de la gravitación newtoniana que sólo puede plantearse una vez formulada la ley. En el segundo, mucho más ilustrativo, el experimento demostró que el agua no era un elemento primordial, pero su interpretación completa no pudo llevarse a cabo hasta el desarrollo posterior de la teoría atómica de los gases, cuando se llevó a cabo el experimento que revertía el proceso: combinar dos volúmenes de hidrógeno con uno de oxígeno y hacer pasar por la mezcla una corriente eléctrica para formar vapor de agua. Ahora quedaba claro que el ennegrecimiento de los polos era debido a la acumulación separada de hidrógeno y oxígeno en cada uno de los respectivos polos<sup>16</sup>. Así, para comprender y explicar completamente un hecho científico producido en el laboratorio se hace necesario producir, también en el laboratorio, un hecho más complejo y de nivel superior basado esta vez en nuevos conocimientos teóricos. Los datos obtenidos de este nuevo hecho se convertirán en la nueva base empírica relevante sustituyendo al anterior, y para explicarlos será necesario generar nuevos hechos de laboratorio basados en nuevos desarrollos teóricos y nuevo instrumental que darán lugar a un nuevo ascenso de la base empírica (por ejemplo, en el caso citado, los experimentos sobre la estructura atómica y molecular del oxígeno y el hidrógeno).

Nada de esto forma parte de nuestra experiencia ordinaria fuera del laboratorio. Y no se trata meramente de un simple incremento de la base empírica, sino que cada una de esas intervenciones constituye un punto de no retorno, se convierte en la base empírica relevante sobre la que hay que investigar, mientras que la anterior pasa a convertirse en conocimiento tácito, en experiencia asumida, comprendida e incorporada como subestructura empírica en los modelos teóricos. Por eso se trata de un ascenso empírico, un ascenso a un nivel de complejidad más alto del que ya no se vuelve atrás, o si se prefiere un descenso a un nivel de profundidad más íntimo en la estructura fina de la realidad. Y a medida que la base empírica asciende en complejidad se va incrementando su dependencia

---

<sup>16</sup> Chang (2012) hace un estudio detallado de todo este proceso desde el punto de vista de la filosofía de la ciencia y el realismo científico.



teórica al mismo tiempo que se aleja inexorablemente de esa experiencia ordinaria que, en sus comienzos, pretendía reproducir y explicar.

Este ascenso se aprecia incluso en la evolución de la propia estructura física de los laboratorios que pasan de las abigarradas fraguas-taller de los alquimistas medievales, dedicadas a la simple manipulación de sustancias con un instrumental elemental, a los laboratorios caseros de la Revolución Científica centrados en la experimentación, el aislamiento y la idealización con un instrumental simple, pero refinado; de éstos se pasa a los asépticos y ordenados laboratorios institucionales del s. XIX dominados por los principios de control y normalización y dotados de un equipo instrumental muy variado, para acabar en las grandes estructuras de la segunda mitad del s. XX, jerarquizadas y con una estricta división del trabajo interno, que están orientadas a la simulación e incluso creación de ‘hechos científicos’ mediante unos aparatos enormes, costosos y complejos que son el núcleo del laboratorio, hasta el punto que resulta imposible distinguir el laboratorio del aparataje que alberga<sup>17</sup>. Sin embargo, a lo largo de todos esos cambios se conservan, en mayor o menor grado, el aislamiento, el control y la normalización como características fundamentales que los separan por definición de la experiencia ordinaria.

Este es el tipo de laboratorio típico de las ciencias experimentales, pero hay otras variantes con características propias adaptadas a situaciones y necesidades concretas. Un caso especial son los observatorios astronómicos en los que la manipulación directa de los fenómenos no es posible, aunque sí pueden hacerse simulaciones. Suelen considerarse un caso extendido del laboratorio porque cumplen con creces las condiciones de aislamiento, control y normalización, pero su interés se centra en el estudio de los objetos celestes y su comportamiento, de modo que la manipulación directa se sustituye por la manipulación de los datos obtenidos con los instrumentos que conforman el observatorio<sup>18</sup>. Hay otros casos en los que el objetivo fundamental es estudiar ciertos objetos naturales y sus propiedades antes de pasar a su manipulación y, posteriormente, a la reproducción experimental de hechos asociados con tales objetos, en parte porque son objetos todavía poco estudiados, en parte porque son demasiado complejos y en parte porque los conocimientos científicos

---

<sup>17</sup> Galison, P. & Thompson, E. (1999) recogen varios artículos analizando la estructura y evolución de los laboratorios. A su vez, Morris, P.J.T. (2015) hace un detallado estudio de la evolución de los laboratorios y los instrumentos, pero limitado al caso de la química.

<sup>18</sup> Así en Shackelford, J. (1993), que hace un pormenorizado estudio de Uraniborg, el laboratorio de T. Brahe, a partir de su estructura arquitectónica.

disponibles no son suficientes para pasar directamente a la experimentación. Así ocurre con las ciencias naturales hasta finales del s. XIX.

En este caso los procesos iniciales de aislamiento e idealización se llevan a cabo literalmente, recolectando muestras directamente de la naturaleza y trasplantándolas a un ámbito aislado y controlado donde poder analizarlas y manipularlas hasta determinar sus propiedades fundamentales que guiarán después la extracción de datos. Esto ocurre, por ejemplo, con los jardines botánicos y zoológicos, los gabinetes y museos de historia natural, etc., que comienzan a generalizarse a partir del s. XVII. Dentro de ellos las muestras se ordenan y distribuyen siguiendo los criterios científicos vigentes, de modo que pretenden ser una representación artificial e idealizada de la naturaleza a pequeña escala y en ciertos aspectos seleccionados desde el punto de vista científico. No obstante, pueden considerarse variantes del laboratorio porque están aislados de influencias externas, están sometidos a control y las condiciones de observación e incluso manipulación están regladas y normalizadas<sup>19</sup>. Y ese es el papel que jugaron durante mucho tiempo siendo fundamentales para el desarrollo de sistemas taxonómicos y la construcción de modelos de datos, como muestran los casos de Linneo, que desarrolló su sistema de clasificación sexual sin salir de los jardines botánicos de Upsala, y los trabajos de Banks en los Kew Gardens de Londres o Cuvier en el Jardin des Plants de París. Tampoco fueron ajenos a la experimentación y la producción de hechos y objetos nuevos que no se encontraban en la naturaleza, como la producción de tulipanes negros en los jardines botánicos de Leyden, el desarrollo de nuevos cultivos o la creación de nuevas variedades animales y vegetales.

Pero su componente representacional eclipsa todo lo demás, hasta el punto que estos desarrollos se aplican a ellos mismos antes que a la naturaleza: su estructura y organización interna se modifican para satisfacer esos nuevos métodos de clasificación y las innovaciones se incorporan inmediatamente a las colecciones y se exhiben junto con el material natural que las integra. La razón es que no se presentan sólo como una representación artificial e idealizada de la naturaleza, sino como el arquetipo de lo que la naturaleza debería ser desde el punto de vista científico. Todo esto se aprecia claramente en su evolución a lo largo del tiempo pasando de las meras colecciones de muestras del s. XVII y comienzos del XVIII (gabinetes de maravillas, colecciones minerales, casas de fieras, etc.) a las estructuras organizadas y relacionadas internamente siguiendo criterios

---

<sup>19</sup> Golinski (1998), cap. 3, analiza las diferencias entre las distintas localizaciones en que se lleva a cabo la investigación científica, sean laboratorios o espacios abiertos.

científicos de los siglos XVIII y XIX (jardines de aclimatación, jardines botánicos, museos de historia natural), y de aquí a las recreaciones científicamente idealizadas de los objetos y su medio natural de finales del XIX y el XX (grandes jardines botánicos, jardines zoológicos de alto nivel, museos inmersivos e interactivos de historia natural, etc.).

Su relación con la experiencia ordinaria es más sutil que en los laboratorios tradicionales. En este caso, no se trata tanto de que los ‘hechos científicos’ sustituyan a los naturales de la experiencia ordinaria, sino que el laboratorio mismo suplante a la naturaleza. Y esta es su característica fundamental. No son sólo centros de investigación, sino también, y más primordialmente, lugares de exhibición de sus resultados, muestras de la capacidad científica para reorganizar racionalmente el mundo. Por eso, y a diferencia de los laboratorios experimentales clásicos, están abiertos al público, porque su objetivo, más allá de aislar y manipular los ejemplares para su estudio, es presentarse ante los visitantes como una recreación científica de la naturaleza y así generar nueva experiencia ordinaria, o al menos introducir la experiencia científica dentro de ésta, dando lugar a reajustes y cambios que la aproximen a la experiencia científica. De ahí que se les incluya en la categoría de ‘laboratorios didácticos’. La función de estos ‘laboratorios didácticos’ es integrar el propio laboratorio en la experiencia ordinaria haciendo que el público entre dentro de él y perciba como ordinario y natural lo que es fundamentalmente una experiencia científica de laboratorio. Esto mismo se pretende con los Museos de la Ciencia, en los que se reproducen públicamente experimentos espectaculares y a veces muy complejos, y los laboratorios escolares orientados al aprendizaje de la ciencia. Lo que se muestra en ellos no son sólo ‘hechos científicos’, sino el funcionamiento interno de un laboratorio, y lo que se busca es sumergir al observador en su interior para que se familiarice e interactúe con esos procesos artificiales de laboratorio como lo haría con los procesos ordinarios de su vida cotidiana. Se busca convertir la experiencia científica en experiencia ordinaria, pero no ampliando ésta y reconstruyendo los pasos que van de ella a los ‘hechos científicos’, sino sustituyéndola directamente sin que el sujeto sea consciente de ello, de manera que acabe considerando natural y obvio lo que es artificial y científicamente desarrollado. Como en los laboratorios clásicos, el contacto con la experiencia ordinaria se habrá perdido, en un caso por alejamiento y ascenso observacional, en el otro por suplantación.

## 4.2 Instrumentos

Los instrumentos son el otro componente fundamental de la práctica científica. De hecho, son inseparables de los laboratorios, pues su labor principal es la manipulación consciente e intencionada de la experiencia para obtener información y extraer nuevos datos<sup>20</sup>. En sentido general un instrumento es un artilugio que permite incrementar la experiencia previamente disponible aumentando la precisión, el alcance o la penetración de las observaciones. Pueden distinguirse tres tipos fundamentales de instrumentos<sup>21</sup>:

1. Instrumentos de precisión y medición. Aumentan la precisión y exactitud de los datos de la experiencia ya disponible y conocida, pero sin detectar objetos o hechos nuevos. Por ejemplo, el astrolabio, el plano inclinado o el termómetro. Profundizan en lo ya conocido por otros medios y lo expanden hacia abajo aumentando su calidad y exactitud. Proporcionan nuevos datos sobre fenómenos ya conocidos y refinan la experiencia disponible.
2. Instrumentos de detección y observación. Permiten la observación de objetos o la manipulación de hechos que están fuera del alcance de nuestra experiencia, como el telescopio óptico, el microscopio o el interferómetro. En sentido estricto habría que hablar de detección más que de observación, pero una vez asentados suelen considerarse fiables y los objetos que detectan adquieren la categoría de observados, como veremos más adelante. Amplían la base empírica y la expanden hacia arriba aumentando su alcance y extensión.
3. Aparatos. Permiten la simulación y recreación de hechos dentro del propio aparato por sí mismo, sin obtenerlos directamente de la realidad externa. Por ejemplo, los aceleradores de partículas como el LHC. En este caso no sólo amplían la base empírica, sino también los métodos para obtenerla.

---

<sup>20</sup> La relación entre instrumentos y datos es tan intensa que Latour & Woolgar (1979) llaman a los datos 'inscripciones' y a los instrumentos 'mecanismos para hacer inscripciones'.

<sup>21</sup> Heidelberger (2003) clasifica los instrumentos por el fin con que se usan, distinguiendo entre imitativos, productivos y constructivos, clasificación que toma Van Fraassen (2008), cap. 4, para discutirla. Por su parte, Baird (2004) cap. 2-4, lo hace por la forma en que se usan y distingue entre instrumentos de medición, modelos y artefactos que crean un fenómeno. Nosotros hemos preferido hacerlo por el tipo de datos que obtienen porque eso encaja mejor con la naturaleza del trabajo que presentamos. En cualquier caso es fácil ver la correspondencia entre las clasificaciones de Heidelberger y Baird y la nuestra.

Aunque de distinta manera, todos ellos incrementan de forma dramática la base empírica y la separan, a veces gradual, a veces tajantemente, de la experiencia ordinaria. Los primeros, se van alejando gradualmente de la experiencia ordinaria a medida que aumenta la precisión de sus mediciones, hasta que los datos que proporcionan dejan de estar en contacto con ella. Basta pensar en las mediciones del tiempo aportadas por un reloj atómico o las temperaturas medidas por un termómetro Kelvin. El paso del tiempo y el calor o el frío pueden ser parte de nuestra experiencia ordinaria, pero un milisegundo o 271 grados bajo cero ya no lo son. Podemos ver los registros del instrumento, pero los estados que los provocan ni siquiera podemos imaginarlos.

En el caso de los instrumentos de detección, la separación y ruptura es más evidente, precisamente porque lo que detectan está por definición fuera del alcance de la experiencia ordinaria. Y la continua mejora de estos instrumentos, junto con el desarrollo de otros nuevos con mayor alcance o profundidad, acaba haciendo que los datos obtenidos con ellos constituyan la inmensa mayoría de la base empírica. Podríamos tener la tentación de establecer una jerarquía entre los fenómenos y objetos así detectados, indicando que algunos están más cerca de la experiencia ordinaria que otros, pero lo que estaríamos jerarquizando en realidad son los instrumentos mismos desde el punto de vista de su potencia, complejidad y dependencia teórica y nuestro grado de familiaridad con ellos. No es que los satélites de Júpiter por sí mismos estén más cerca de nuestra experiencia ordinaria que un púlsar, o una célula que un virus, sino que el telescopio galileano es más simple y familiar que un radiotelescopio y un microscopio óptico que un microscopio electrónico.

En cuanto al tercer caso, la ruptura es radical y absoluta no sólo porque los fenómenos que detectan están más allá de nuestra experiencia ordinaria, sino también porque las condiciones en que lo hacen y los métodos empleados no tienen la más mínima relación con ella. No se trata ya de usar un instrumento para medir con precisión o detectar algo que ocurre fuera de él e independientemente de nuestra intervención. Por el contrario, los sucesos ocurren dentro del aparato, los crea él mismo y los datos sólo nos proporcionan información acerca de los procesos que el aparato está creando. Podrían incluso interpretarse como mera información acerca de los estados del aparato. Un acelerador de partículas hace que las partículas en su interior se muevan a velocidades cercanas a las de la luz y choquen entre sí violentamente. Al hacerlo, se desintegran y aparecen nuevas partículas que antes no estaban y que persisten durante milésimas de segundo antes de

desaparecer y que se formen otras nuevas partículas más masivas. Los detectores del aparato detectan esto midiendo los cambios de energía que ocurren en su interior y correlacionándolos con las partículas correspondientes propuestas por los modelos teóricos. Nada hay aquí que tenga relación con la experiencia directa, salvo las lecturas del aparato. Sólo a partir de esas lecturas podemos tener cierta información acerca de lo que está ocurriendo dentro y que no habría tenido lugar si el aparato no existiera, y eso siempre con la ayuda de modelos teóricos que interpreten los datos correlacionándolos con las entidades y procesos ocultos que, según la teoría, los producen.

En los tres casos, aunque de forma distinta en cada uno, se produce un alejamiento de la experiencia ordinaria que se va incrementando con la introducción de instrumentos cada vez más potentes o más complejos, y a medida que crece esta cadena la experiencia ordinaria, se va difuminando hasta desaparecer. Nadie negará que es originaria y que está al comienzo de todo el proceso, pero acabará estando tan lejana que, a todos los efectos, será como si no existiera. Su lugar lo ocuparán los datos y los instrumentos que los generan, los cuales a su vez serán sustituidos por nuevos datos e instrumentos y así sucesivamente. Al mismo tiempo que se produce este distanciamiento, la misma noción de observable se va modificando<sup>22</sup>. En principio lo observable se identifica con lo observable en la experiencia ordinaria o, al menos, con lo obtenido por idealización y simplificación de esa experiencia ordinaria, en algún caso con ayuda de algún instrumento sencillo. Cuando se usa un nuevo instrumento más potente, los datos que aporta se consideran ‘detectados’ en lugar de ‘observados’, porque lo único que tenemos son unos datos que pueden considerarse indicios de la existencia de algo que los produce, pero que no sabemos qué es, y que se han obtenido mediante un instrumento cuya fiabilidad no está completamente garantizada. Sólo cuando se articulan en un modelo de datos adquieren carta de naturaleza como ‘hechos científicos’ y la fiabilidad del instrumento se considera aceptable. Los datos así obtenidos y ‘detectados’ por el instrumento se incorporan a la base empírica y en ese momento los datos aportados por instrumentos previos pasan a considerarse seguros y ‘observados’. Lo mismo ocurrirá cuando se desarrollen instrumentos nuevos. Los datos que aporten se integrarán en la base empírica como

---

<sup>22</sup> Entendemos observable en un sentido distinto al de la vieja distinción teórico-observacional abandonada desde que Stegmüller y Van Fraassen mostraron independientemente a finales de los años 70 que encubría una doble dicotomía, teórico/no teórico y observable/no observable. Nuestro uso está más en línea con la distinción observable/detectable/inobservable de Shapere (1982) y especialmente Hacking (1983), cap. 10 y 16.

‘detectados’ y entonces los ahora etiquetados como ‘detectados’ pasarán a considerarse hechos seguros y ‘observados’.

Un ejemplo sencillo de este proceso sería el protagonizado por Galileo y los satélites de Júpiter. Lo que Galileo vio con el telescopio<sup>23</sup> eran unos puntos luminosos que aparecían cerca de Júpiter. Tras algunas observaciones, comprobó que cada uno aparecía independientemente de los otros, unas veces a un lado y otras al otro lado de Júpiter, y que su número cambiaba entre dos y cuatro. Podía tratarse de estrellas de fondo o de objetos celestes caprichosos que a veces eran visibles y otras no; incluso podían ser consecuencia de un defecto del telescopio, de modo que comenzó un registro meticuloso mediante observaciones sucesivas, llegando a colocar en el objetivo del telescopio una rejilla metálica para poder medir con precisión las distancias de cada punto con Júpiter. De esta manera pudo constatar que eran cuatro, aunque no siempre eran visibles todos a la vez, y que se mantenían siempre cerca de Júpiter, cada uno a una distancia máxima, como si se movieran con él. Incluso repetían posiciones y distancias en periodos regulares de tiempo y aparecían y desaparecían también a intervalos regulares. Era razonable pensar que se trataba de objetos vinculados a Júpiter, quizá satélites girando a su alrededor como la Luna en torno a la Tierra. Pero no se podía afirmar con certeza hasta haber elaborado una tabla de sus movimientos, aunque fuera inductivamente. Para ello Galileo construyó un nuevo instrumento, el iovilabio, una especie de complicado astrolabio con dos varillas articuladas móviles que permitían reproducir y predecir los movimientos de los satélites respecto a Júpiter a partir de las anotaciones de distancia y tiempo tomadas en sus sucesivas observaciones. Consiguió así construir unas tablas aproximadas de los satélites, un modelo de datos suficiente para probar que giraban en torno a Júpiter. Las tablas exactas las elaboraría Cassini más de 50 años después utilizando un telescopio cinco veces más grande y mucho más potente que el pequeño telescopio de reflexión de Galileo, un cuadrante de precisión mucho más exacto que la rejilla galileana y un reloj de péndulo. Los satélites de Júpiter dejaban definitivamente de ser ‘detectados’ para convertirse en ‘observados’ y los instrumentos galileanos pasaban a ser dignos de confianza, aunque menos precisos que los utilizados por Cassini. Incluso, si se quiere, este momento podría adelantarse hasta el iovilabio y las tablas galileanas. A su vez, las tablas de Cassini, elaboradas por pura observación inductiva, se convertirían en hechos ‘observados’ cuando se explicaron como

---

<sup>23</sup> Galileo (1610) expone detalladamente las observaciones que lo llevaron al descubrimiento de Júpiter.

una consecuencia de la gravedad aplicando la mecánica newtoniana y utilizando poderosos telescopios de refracción.

La razón de este comportamiento es que los datos están inextricablemente unidos al instrumento, son inseparables de él, salvo por razones metodológicas. A fin de cuentas, los datos no podrían haberse obtenido de ninguna manera sin el concurso del instrumento. Incluso se retroalimentan, pues la validez de los datos se basa en la fiabilidad del instrumento, la cual a su vez descansa en su eficacia para proporcionar datos válidos. Por eso, cuando los datos se incorporan a la base empírica llevan consigo el instrumento que los genera y sin el cual no existirían, y así redefinen lo que se entiende por experiencia aceptable. Es cierto que inicialmente la base empírica y los problemas a resolver proceden de fenómenos de la experiencia ordinaria obtenidos directamente o con una intermediación mínima, pero cuando se utiliza uno de estos instrumentos, el instrumento y toda la información que genera se acaban convirtiendo en la nueva base empírica. En otras palabras, la base empírica relevante ya no son los fenómenos de la experiencia directamente observados, sino los generados e incorporados por estos instrumentos y sólo a través de ellos, y de una forma indirecta, los fenómenos ordinarios iniciales. A su vez, la explicación de la nueva base empírica, la transformación consiguiente de los problemas y la superación de esos instrumentos mediante otros nuevos dan lugar a otro ascenso hasta un nivel más alto, y así sucesivamente. El resultado no es un simple aumento cuantitativo de la base empírica, sino un salto cualitativo, un ascenso en la calidad y complejidad de las observaciones que jamás podría haberse llevado a cabo en el nivel precedente sin el concurso del instrumento. En este sentido los instrumentos son, como los experimentos de laboratorio señalados más arriba, puntos de no retorno, hitos que marcan el abanico de posibles desarrollos posteriores de manera firme y explícita, aunque no determinista. Por eso podríamos hablar de un ‘ascenso empírico’<sup>24</sup>, un paso a un nivel de experiencia superior provocado por el instrumento, y la transición de ‘detectado’ a ‘observado’ no es más que una consecuencia de ese proceso.

En principio, esta forma de incorporar los datos a la base empírica no debería representar ningún problema más allá de la pérdida de contacto con la experiencia ordinaria. A fin de cuentas, los datos no son más que registros, listas de resultados, lecturas

---

<sup>24</sup> Tomamos la noción de ‘ascenso empírico’, así como las de instrumentos convergentes y divergentes que usaremos más adelante de Doble Gutiérrez, S. (2009) p. 219 ss., donde las aplica al caso de la ‘terrella’ de Gilbert.



del instrumento e incluso anotaciones en cuadernos de laboratorio y, como tales, perfectamente observados y observables, incluso para la experiencia ordinaria. El problema es que estos datos por sí solos no significan nada. Y además no se generan espontáneamente, sino que requieren de instrumentos que los obtengan. Por eso se consideran indicios de otras cosas, manifestaciones de objetos o sucesos que permanecen más o menos ocultos y que no conocemos. Solo cobran sentido cuando se articulan en un modelo de datos y este se subsume como subestructura empírica en un modelo teórico que permita su interpretación. Son estos modelos teóricos quienes correlacionan los datos con entidades o procesos postulados por la teoría y los interpretan como sus consecuencias observables. A medida que esa correlación se refuerza, los datos se acaban identificando con las entidades propuestas por la teoría como sus verdaderas manifestaciones observables. Ya no sólo indicarían su existencia y actividad, sino que se usan para determinar las propiedades y el comportamiento de éstas al covariar con ellas, siempre según la teoría. Pero conviene no olvidar que son cosas diferentes y que su identificación se basa exclusivamente en la interpretación que el modelo teórico hace de los datos. Si se produjera un cambio de teoría, o su abandono, las entidades supuestas por la teoría desaparecerían de escena, pero los datos se mantendrían, aunque sin interpretar y pendientes de que un modelo teórico de una nueva teoría los interpretara correlacionándolos con nuevas entidades ocultas. No obstante, mientras la teoría se mantenga vigente la identificación se conserva y eso tiene una consecuencia importante: al incorporar los datos a la base empírica se incorporan también las entidades y procesos relacionados con ellos. Así, acaban siendo tan seguros, reales y empíricos como los datos mismo, e incluso más reales, porque se considera que los instrumentos extraen los datos de ellos<sup>25</sup>. A medida que tiene lugar este proceso, la base empírica va siendo cada vez más ‘científicamente dependiente’ y el ‘ascenso empírico’ más notorio. Esto es lo que ocurre en el texto citado al principio de este trabajo: la colisión entre las galaxias, el efecto de lente gravitacional, la distribución de materia oscura, etc..., no son más que el resultado de un enorme ‘ascenso empírico’ y eso es lo que los hace tan desconcertantes para nuestro conocimiento ordinario.

Lo mismo ocurre con los instrumentos que cita, el Hubble, el VLT y el LHC, las tres joyas de la corona del instrumental científico del s. XXI. El primero, el telescopio en órbita

---

<sup>25</sup> Rheinberger, A.J. (1997) llama cosas epistémicas a esas entidades y procesos asociados experimentalmente con los datos para diferenciarlos de las entidades teóricas en sentido estricto.

Hubble, es el más viejo (se lanzó en 1990) y ha dejado de ser operativo este año a la espera de ser sustituido por el nuevo telescopio orbital Webb. El Hubble es un telescopio robótico en órbita a 600 kilómetros de la Tierra con un espejo de 2.5 metros y en el momento de su lanzamiento estaba integrado por 5 instrumentos (actualmente son 7): una cámara de campo ancho, una cámara de objetos de brillo débil, un espectrógrafo de objetos de brillo débil, un espectrógrafo de alta resolución y un fotómetro de alta velocidad. Además lleva sensores de rastreo fino que actúan como interferómetros y puede alcanzar una resolución de 0.5 segundos de arco. Sólo el primer instrumento, la cámara de campo ancho, recuerda remotamente algo parecido a la experiencia humana. El Telescopio Muy Grande (Very Large Telescope, VLT) de Chile empezó a funcionar en 1998 y es una combinación de 4 telescopios unitarios con un espejo de más de 8 metros cada uno y 4 telescopios auxiliares móviles con un espejo de casi 2 metros. Pueden funcionar por separado o conjuntamente y se pueden combinar para formar un interferómetro gigante. Lo completan más de 15 instrumentos (espectrógrafos y espectrómetros de infrarrojos y ultravioletas, sistemas de óptica adaptativa, fotómetros ultrarrápidos, etc.) y puede alcanzar una resolución de 0'05 segundos de arco con un solo telescopio y 0'001 segundos de arco cuando se combinan, lo que en teoría le permite captar imágenes de objetos cuatro mil millones de veces más débiles que el límite detectable por el ojo humano.

En cualquier caso, nadie mirará jamás por uno de estos telescopios, porque no están pensados para eso, sino para alimentar de imágenes a los instrumentos que los complementan<sup>26</sup>. Éstos analizarán la luz recogida por los espejos, la descompondrán y obtendrán los datos específicos que cada uno detecta. Y, de vez en cuando, alguna de las cámaras tomará una fotografía más o menos borrosa pero espectacular que, una vez retocada, coloreada en falso color y, casi siempre, recombinada con otras fotografías tomadas por otras cámaras, se exhibirá al público como muestra de los resultados obtenidos por el telescopio. Un proceso que recuerda los que se llevan a cabo en los laboratorios didácticos de que hemos hablado en otro apartado. El 'ascenso empírico' provocado por estos grandes aparatos es obvio como puede apreciarse por los instrumentos que los complementan o, más sencillamente, comparándolos con el modesto telescopio de reflexión galileano, un simple tubo de madera de un metro de largo con una lente cóncava

---

<sup>26</sup> La autonomía de estos grandes instrumentos es tal que incluso la comprobación de su funcionamiento está controlada por sistemas computacionales integrados en ellos, por eso Latour (1987) los considera actores no humanos integrados en pie de igualdad en la red de actores de la práctica científica.

y otra convexa en cada uno de sus extremos, un objetivo de unos 20 centímetros y una potencia de 80 aumentos.

Pero la gran estrella es el Gran Colisionador de Hadrones (Large Hadrons Collider, LHC) que es muchísimo más complejo y pertenece al tipo que hemos clasificado más arriba como Aparatos. Es un acelerador de partículas instalado en un túnel circular de casi 27 kilómetros a 100 metros bajo tierra y más de 3 metros de diámetro en su interior que empezó a funcionar en 2008. Tiene más de 9000 imanes superconductores que aceleran las partículas hasta prácticamente la velocidad de la luz y su componente principal son cuatro grandes detectores que funcionan independientemente y son los encargados de detectar las partículas que se forman cuando chocan los protones o los iones de plomo lanzados a esa velocidad. La violencia de los impactos y la enorme energía que liberan, hacen que deba enfriarse hasta prácticamente el cero absoluto para poder funcionar, y debe estar en un vacío completo para que la presencia de partículas ‘externas’ no altere los resultados. Lo más interesante, desde el punto de vista que nos ocupa, es que ha sido diseñado y construido a partir del modelo estándar con el objetivo de contrastar la validez del mismo modelo estándar. Es un enorme simulador que emula las condiciones reinantes en los primeros instantes del universo, siempre según el modelo que está contrastando, y busca crear y detectar las partículas que el modelo predice y que no pueden detectarse en la realidad en condiciones naturales, como el bosón de Higgs o el quark top, junto con otras que aún no ha podido crear, pero que podrían aparecer cuando aumente la energía de los impactos, como partículas supersimétricas, partículas de la materia oscura o incluso microagujeros negros. En estas condiciones, no es extraño que se considere el arquetipo de aparato científico de nueva generación y que contenga tan vasta cantidad de conocimiento teórico que sea difícil distinguir donde acaba la teoría y donde empieza el experimento, donde está el límite entre el modelo estándar y el aparato, e incluso qué es real y qué es simulado.

Sin llegar al extremo del LHC, lo cierto es que los instrumentos son objetos artificiales diseñados y construidos para alcanzar objetivos muy concretos, la obtención de datos, y eso hace que incorporen conocimiento y habilidades. Por eso se les ha considerado contenedores de conocimiento o conocimiento reificado<sup>27</sup>. En realidad cualquier objeto artificial incorpora algún tipo de conocimiento que ha servido para construirlo y que da

---

<sup>27</sup> Baird, D. (2004) cap. 1

cuenta de él y justifica su funcionamiento, incluso cuando se usa en un sentido distinto a aquel para el que ha sido diseñado. Pero esta característica se acentúa dramáticamente en los objetos utilizados para obtener conocimiento, porque la fiabilidad de éste descansa en gran parte en la calidad y cantidad del conocimiento reificado en el objeto utilizado. En el caso de los instrumentos científicos, el conocimiento incorporado puede llegar a ser ingente y tremendamente complejo y sofisticado, pero es fundamental porque toda la fábrica de la ciencia se apoya en ellos. Es este conocimiento incorporado el que permite establecer de antemano la fiabilidad del instrumento con independencia de los resultados obtenidos. De la misma forma, es la base de la plasticidad del instrumento, de la posibilidad de mejorar su rendimiento y eficacia. Y no importa si está explícito o no, en cualquier caso está ahí contenido en el instrumento y se incorpora a la base empírica cuando lo hacen el instrumento y sus datos precisamente porque está reificado en él. Incluso la magnitud del ‘ascenso empírico’ que se produzca depende en gran medida de este conocimiento incorporado. Por eso los instrumentos científicos no pueden considerarse como simples prolongaciones del aparato sensorial humano, ni como ayudas o complementos a la observación, porque no son objetos neutros ni cognitivamente transparentes, sino conocimiento materializado, objetos cargados de conocimiento como puede apreciarse en los casos citados más arriba del Hubble, el VLT y el LHC. Ahora bien, también en este aspecto pueden distinguirse al menos tres tipos generales de instrumentos:

1. Artefactos que no derivan directamente de conocimiento teórico, pero que aun así son depósitos de información relevante, lo que los convierte en motores heurísticos de primer orden ya que obligan a buscar una explicación y justificación teórica de su funcionamiento y resultados. Originariamente pueden derivar de conocimientos técnicos o artesanales, de procesos de ensayo y error, de especulaciones más o menos acertadas o de otras fuentes diversas, pero esa urgencia por comprender, justificar y mejorar su funcionamiento fuerzan a reconstruir el conocimiento que contienen a partir de su estructura interna. Suelen generar ascensos empíricos de pequeña magnitud, aunque radicales desde el punto de vista heurístico, y persisten poco tiempo hasta que el conocimiento que incorporan se subsume en redes y marcos teóricos, en cuyo caso pasan a ser instrumentos del segundo tipo. Un ejemplo característico sería el telescopio galileano y otro, la brújula.

2. Instrumentos contenedores de conocimiento en sentido estricto, que se derivan a partir de conocimiento teórico disponible. Representan el prototipo de conocimiento reificado y suelen funcionar como aplicaciones privilegiadas y especialmente contundentes del conocimiento teórico a partir del cual se han desarrollado. Su efectividad y eficacia en la producción de nueva información justifica su contenido cognitivo y lo convierte en una continuación de la teoría por otros medios. Los relojes de péndulo compuesto de Huygens son ejemplos de este tipo de instrumentos. El telescopio kepleriano desarrollado a partir de los estudios de óptica y de la teoría de la visión de Kepler es un ejemplo aún más ilustrativo y muestra, además, cómo se produce la transición de un artefacto del tipo 1 (el telescopio galileano) a un instrumento del tipo 2. En todos los casos, el conocimiento que reifican es conocimiento acerca del mundo, y la credibilidad de ese conocimiento acaba confiriendo carta de naturaleza y status de realidad a las entidades manipuladas y sus propiedades. Por eso producen ‘ascensos empíricos’ importantes y se convierten en hitos de no retorno. Pero junto a ellos hay un tercer tipo mucho menos frecuente, pero dotado de un interés mucho más fundamental.
  
3. Aparatos<sup>28</sup> que, siendo también depósitos de conocimiento o información como los anteriores, añaden una nueva característica especial: la de incorporar además nuevos métodos de investigación. En este sentido, estos aparatos incorporan nuevos principios metodológicos que son consustanciales a su funcionamiento, por lo que no sólo son conocimiento reificado, sino también metodología reificada, y eso les confiere un status fundamental. Como los anteriores, son puntos de no retorno y dan lugar a ‘ascensos empíricos’ aún de mayor magnitud, pero además son también puntos de no retorno metodológico y producen ascensos metodológicos. Eso los convierte en aparatos de gran complejidad y difíciles de explicar y superar, porque para explicar satisfactoriamente su funcionamiento y dar cuenta de la nueva base empírica que generan no basta con los desarrollos teóricos y explicativos habituales, sino que también hace falta explicar, justificar y ‘superar’ ese contenido metodológico que incorporan. De

---

<sup>28</sup> Mantenemos aquí el nombre de ‘aparatos’ intencionadamente, porque son normalmente los mismos que corresponden al tipo que llamábamos también ‘aparatos’ en la distinción anterior. En un sentido general, el término correspondería a aparataje, ‘apparatus’, en el sentido en que lo usa Galison (1997).

una parte son puntos de no retorno y no pueden obviarse volviendo a una situación anterior, de otra parte transforman radicalmente los problemas y la forma de tratarlos y para seguir adelante es necesario ‘superar’ el aparato no sólo cognitiva, sino también metodológicamente. El LHC precisamente es un caso de este tipo de aparatos.

De esta manera, y sean del tipo que sean, los instrumentos científicos nos ponen ante una situación muy interesante desde un punto de vista filosófico. Son objetos cargados de conocimiento que se utilizan para adquirir nuevo conocimiento. Por tanto nos encontraremos ante casos muy diferentes según la relación que pueda haber entre el conocimiento que incorporan y el que generan. Habría dos grandes categorías según el primero sea independiente o dependiente del segundo.

Por una parte estarían los que podríamos denominar instrumentos divergentes, es decir, aquellos en los que la información que generan no afecta a la explicación de su funcionamiento. En estos casos, la forma en que funcionan corresponde a un campo de conocimiento y la información que producen pertenece a otro, y podría decirse que sus resultados no afectan y no dan información relevante respecto a su propio funcionamiento. Un ejemplo característico es el telescopio, cuyo funcionamiento se explicaría mediante una teoría óptica y, si se quiere, una teoría de la visión, mientras que la información que produce corresponde a la astronomía. Este tipo de instrumentos dan lugar a ramificaciones porque generan al menos dos líneas diferentes de problemas, una relacionada con su funcionamiento y otra con la información que aportan. Y, aunque ambas pueden mantener algunas conexiones, son divergentes entre sí en el sentido de que la explicación o solución de los problemas de una no tiene por qué afectar a la explicación o solución de los de la otra, aunque con frecuencia lo hagan. En cierto modo abren el abanico de los desarrollos subsiguientes. Por esa misma razón, el ascenso empírico que producen es más gradual, más continuo, y más frecuente en cada una de las direcciones.

Por otra parte, están los instrumentos convergentes, es decir, aquellos que producen información que es muy relevante e incluso necesaria para explicar satisfactoriamente su funcionamiento. En este caso, la forma en que el instrumento funciona y la información a que da lugar pertenecen al mismo campo de conocimiento, e incluso a la misma teoría, y son mutuamente interdependientes. Son mucho menos frecuentes que los anteriores y tienen una característica reflexiva que los convierte en sistemas de información cerrados: la

información obtenida es importante para comprender el funcionamiento del instrumento, pero comprender el funcionamiento del instrumento es fundamental para interpretar correctamente la información resultante. Otra característica es que son unificadores, es decir, suelen combinar y unificar problemas que habían seguido procesos diferentes hasta ese momento y que una vez combinados se transforman en un problema mucho más complejo y heurísticamente más rico, pero también mucho más difícil de explicar. Por eso son convergentes y cierran el abanico de desarrollos posteriores concentrándolos en una misma línea, que a cambio es muchísimo más compleja. Eso hace que el ascenso empírico que producen sea de gran magnitud saltando a un nivel cualitativamente superior y claramente diferenciado del anterior, lo que los convierte en hitos fundamentales y puntos de no retorno irreversibles. La interdependencia mutua entre el funcionamiento del aparato y los resultados, su naturaleza cerrada, hace que no baste con una reinterpretación del conocimiento disponible, ni con meros reajustes, sino que sea necesario crear explicaciones radicalmente nuevas, además de nuevos métodos y enfoques. De ahí proviene ese aspecto discontinuo y rupturista que les acompaña. Y por eso la explicación, mejora o superación de los instrumentos de este tipo es ardua, difícil y sobre todo lenta, además de muy dependiente de factores contextuales y externos no estrictamente científicos. La mayoría de los que hemos llamado aparatos un poco más arriba pertenecen a esta categoría de instrumentos convergentes.

## **5. Conclusión y vías abiertas**

La ciencia, tal como hoy la conocemos, es la forma más completa y segura de conocimiento. Su capacidad para predecir lo inesperado y para explicar con precisión sucesos muy complejos, así como su facilidad para penetrar en la estructura fina de la realidad, le han dado un halo de maravilla. Pero la ciencia contemporánea también nos produce estupor y desconcierto porque nos habla de cosas que apenas si podemos comprender con gran esfuerzo y que no tienen la más mínima relación con nuestra experiencia ordinaria.

La razón de esta doble cara de la ciencia es que no trabaja sobre los hechos de nuestra experiencia ordinaria, aunque lo hizo en un tiempo ya lejano, sino sobre datos que se obtienen utilizando instrumentos en laboratorios artificialmente aislados del mundo que los rodea. Correlacionando esos datos con sucesos y entidades que ella misma postula, nos

ofrece unas representaciones coherentes de la realidad, pero que tienen poco que ver con nuestro mundo cotidiano. Las aceptamos por el prestigio y autoridad que la ciencia se ha ganado a pulso a lo largo de su evolución, pero no porque podamos constatarlas y, a veces, siquiera imaginarlas.

Quizá el problema no esté en la ciencia, sino en nosotros. Tendemos a pensar que nuestro estilo de pensamiento, tan eficaz en la vida cotidiana, debería funcionar igual de bien en el ámbito de la ciencia. Pero olvidamos que el estilo de pensamiento científico se ha ido conformando de una manera diferente a medida que evolucionaba a través de la historia. Y, de la misma manera, la experiencia científica ha evolucionado hasta tener muy poco que ver con nuestra experiencia ordinaria. En este trabajo hemos intentado mostrar cómo ha tenido lugar esa evolución, cómo se han ido separando dos formas de experiencia que una vez estuvieron muy cercanas. La base empírica de la ciencia se ha alejado de nuestro conocimiento natural a medida que se introducían intermediarios en la práctica científica, como los laboratorios o los instrumentos, que le han permitido crecer en objetividad, precisión y profundidad, pero a costa de perder naturalidad.

Nuestro estilo de pensamiento ordinario se basa en interactuar y estar en contacto directo con la pluralidad indiscriminada de hechos que nos rodean. Pero en la ciencia esos hechos no aparecen como tales, sino aislados, idealizados y reducidos a datos en laboratorios normalizados y controlados. Y no se interactúa directamente con ellos, sino mediante instrumentos cada vez más complejos y autónomos. Con frecuencia, son hechos creados en el laboratorio que no tienen lugar, o no son perceptibles, en el mundo que nos rodea. E incluso no son hechos naturales, sino simulaciones generadas por el propio aparato, a veces físicamente localizadas, como en los experimentos del LHC, pero otras veces sin localización física, sino puramente virtuales, como ocurre en los laboratorios virtuales desarrollados en los últimos años. Es posible crear una célula virtual y experimentar con ella extrapolando después los resultados obtenidos a las células físicamente reales. Pueden hacerlo científicos desde distintos lugares del mundo y posiblemente pronto podrá hacerlo un ordenador sólo. Los ascensos empíricos que todo esto produce son de tal calibre que incluso se empieza a perder el contacto con la realidad física, no ya con la experiencia ordinaria. Y no son sólo ascensos empíricos, sino también metodológicos, porque estamos ante aparatos convergentes.



Como hemos visto, la ciencia comenzó a distanciarse del conocimiento ordinario, buscando la objetividad y la fiabilidad a través de la eliminación de elementos subjetivos a la hora de construir la base empírica. Para conseguirlo, se inicia un proceso de despersonalización que culmina en la ciencia contemporánea. Primero se sustituyeron las descripciones de la experiencia ordinaria por descripciones científicas precisas; después, se eliminaron esas descripciones en favor de la extracción directa de datos a partir de la experiencia por los propios científicos. Esa extracción estaba regulada por pautas y reglas metodológicas que garantizaban la intercambiabilidad de los observadores y la equivalencia de los escenarios en que se llevaba a cabo. Además, los datos tenían que ser universalmente comprobables y comprobados para garantizar su fiabilidad; por tanto, era necesario poder repetir y manipular los hechos, experimentar con ellos. La forma más efectiva de hacerlo era mediante el aislamiento y el control de esos procesos en laboratorios, donde también sería posible generar hechos nuevos. Para que esa experimentación fuera más precisa y profunda, era imprescindible utilizar instrumentos que mejoraran la manipulación permitiendo incrementar la precisión y la producción de nuevos efectos. Así, el laboratorio sustituye a la naturaleza y los instrumentos a la manipulación directa del experimentador. Comienza entonces el proceso de ascensos empíricos que conduce al distanciamiento definitivo de la experiencia ordinaria. Desde comienzos del s. XX los laboratorios han evolucionado hasta convertirse en corporaciones y los instrumentos se han hecho cada vez más autosuficientes hasta desembocar en aparatos que se autorregulan y están compuestos por diferentes instrumentos interconectados. Así, el científico se distancia de los procesos que estudia y se convierte en un intérprete de datos utilizando los modelos teóricos aceptados. El último paso, de momento, es la construcción de aparatos simuladores convergentes y laboratorios virtuales en los que experimentar con simulaciones virtuales. Sin duda se ha eliminado toda subjetividad y se ha alcanzado la objetividad completa, pero al precio de la despersonalización y el ensimismamiento de la ciencia.

Esto abre una línea de investigación muy interesante: ¿Podrían los resultados de la ciencia llegar a suplantar el mundo que nos rodea de la misma manera que los laboratorios han sustituido a la naturaleza y los hechos científicos a los naturales?

Un primer paso ya se ha dado: la reciente reconstrucción de un Tyrannosaurus Rex para su posterior disección por televisión. Se trata de un proyecto de National

Geographic.<sup>29</sup> Uniendo conocimientos de paleontología y técnicas de efectos especiales, han replicado un animal extinto hace millones de años para su posterior disección. Es “una reconstrucción anatómicamente completa, a tamaño natural, con piel y huesos y, lo más extraordinario, ¡entero por dentro!, con carne, músculos, órganos, incluidos los reproductores, vísceras y sangre”<sup>30</sup>. Incluso comentan que han replicado el olor a carne podrida mediante un cóctel químico. Se trata de una reproducción con fines comerciales, pensada para ser televisada. Pero ¿cuál es la diferencia con una célula virtual? ¿Acaso no es más real esta réplica?

---

<sup>29</sup> En el periódico “El País” podemos leer: “¿De dónde había salido pues un dinosaurio fresco, y nada menos que el más emblemático, la quintaesencia del dinosaurio, un Tyrannosaurus Rex, al que se pudiera diseccionar como a un animal recién muerto en la carretera?” y continúa ““En realidad, lo hemos construido nosotros” explicaba uno de los responsables del proyecto”, al que el periodista define como “uno de los proyectos más sensacionales y seguramente más extravagantes de National Geographic”. “Autopsia a un tiranosaurio”, El país semanal, 31/05/2015, por Jacinto Antón

<sup>30</sup> “Autopsia a un tiranosaurio”, El país semanal, 31/05/2015, por Jacinto Antón

## **Bibliografía citada**

- Andrewes, W.H.J., (ed.) (1996), *The quest for longitude*. Cambridge, Mass., Harvard U.P.
- Baird, D. (2004), *Thing knowledge, a philosophy of scientific instruments*. Berkeley, U. California P.
- Barberousse, A. & Ludwig, P. (2009) “Models as fictions” en Suárez, M. (ed) (2009) p. 56-73
- Cartwright, N. (1983), *How the laws of physics lie*. Oxford, New York: Clarendon Press
- Chang, H. (2012), *Is water H2O? Evidence, realism and pluralism*. Dordrecht, Springer
- Doble Gutiérrez, S. (2009) *La integración de hechos, intereses y valores en el cambio científico y su aplicación al problema de la determinación de la longitud y el primer meridiano: la solución magnética de William Gilbert*, Tesis Doctoral, U. de La Laguna.
- Galileo (1610) “Sidereus Nuntius”, recogido en Galilei, G.; Kepler, J., *El mensaje y el mensajero sideral*, Madrid, Alianza, 1990.
- Galison, P. (1997), *Image and logic: a material culture of microphysics*. Chicago, U. Chicago P.
- Galison, P. & Thompson, E. (eds.). (1999), *The Architecture of Science*. Cambridge (Mass.), MIT Press.
- Giere, R.N. (1979), *Understanding scientific reasoning*, NY, Holt, Rinehart & Winston
- Golinski, J. (1998), *Making natural knowledge*, Chicago, U. Chicago P.
- Hacking, I. (1983), *Representar e intervenir*, México, Paidós, 1996
- Hacking, I. (1999), *¿La construcción social de qué?*, Barcelona, Paidós, 2001
- Heath, T. L. (1981), *Aristarchus of Samos, the ancient Copernicus*, New York, Dover.
- Heidelberger, M. (2003) “Theory-ladenness and scientific instruments in experimentation”, en Radder, H. (2003)
- Hunter, M. (1989), *Establishing the new science: the experience of the early Royal Society*. Woodbridge, Boydell Press.

- Kidd, I.G. (1999), *Posidonius, the translation of the fragments*, vol. III, Cambridge U.P.
- Latour, B (1987), *Ciencia en acción, cómo seguir a los científicos e ingenieros a través de la sociedad*. Barcelona, Labor, 1992.
- Latour, B. y Woolgar, S., (1979), *La vida en el laboratorio, la construcción de los hechos científicos*. Madrid, Alianza, 1995.
- Moskowitz, C. (2015) “¿Interacciones de materia oscura?”, *Investigación y ciencia*, 465, Junio 2015, p. 6-7.
- Morris, P.J.T. (2015), *The matter factory. A history of the chemistry laboratory*. U. Chicago P.
- Olivé, L. y Pérez Ransanz, A.R. (eds.) (1989), *Filosofía de la ciencia: teoría y observación*. México, Siglo XXI.
- Radder, H. (ed) (2003), *The philosophy of scientific experimentation*. U. Pittsburgh P.
- Rheinberger, H.J. (1997), *Toward a History of Epistemic Things: Synthesizing Proteins in the Test Tube*, Stanford, Stanford U.P.
- Sellars, W. (1967), *Ciencia, percepción y realidad*. Madrid, Tecnos, 1971
- Sneed, J.D. (1971), *The Logical structure of mathematical physics*. Dordrecht, Reidel
- Stegmüller. W. (1973), *Estructura y dinámica de teorías*. Barcelona, Ariel, 1983
- Stegmüller. W.(1979), *La concepción estructuralista de las teorías*. Madrid, Alianza, 1981
- Shackelford, J. (1993) “Tycho Brahe, laboratory design, and the aim of science: Reading plans in context”, *Isis* 84, 2, 1993, pp. 211-230
- Shapere, D. (1982) “El concepto de observación en ciencia y filosofía”, en Olivé, L. y Pérez Ransanz, A.R. (1989) pp. 479-526.
- Sturdy, D. J. (1995) *Science and social status: the members of the Academie des sciences, 1666-1750*, Woodbridge, Boydell Press
- Suárez, M. (ed) (2009), *Fictions in science*. NY, Routledge
- Van Fraassen, B.C. (1980), *La imagen científica*. México, Paidós, 1996

Van Fraassen, B.C. (2008), *Scientific representation: paradoxes of perspective*. Oxford, Clarendon

Van Helden, A. (1996) "Longitude and the satellites of Jupiter", en Andrewes, W.H.J. (1996), pp. 86-100