

IV. EL MÉTODO CIENTÍFICO

4 – 1. Introducción

Toda ciencia intenta ofrecer una descripción de una parte de la realidad a la vez de explicar los cambios que en ese campo se producen. Para un logro eficiente de sus objetivos, la actividad científica debe estar despojada de creencias religiosas o mágicas. Para un desarrollo exitoso de la actividad científica es también necesario el requisito el ordenamiento adecuado de la masa de datos y de la información que se dispone. Pero esa actividad no se limita a dar explicaciones que puedan corroborarse empíricamente sino que trata de anticipar o predecir cambios futuros o manipular las condiciones existentes para evitar, provocar o modificar ciertos cambios en su objeto de estudio.

Un tema central de la Epistemología lo constituye el método que emplea la ciencia para el logro de sus objetivos, aunque más de un epistemólogo ha cuestionado la existencia de tal método. Este supuesto método sería un conjunto de reglas que establecerían la manera más eficiente en que se debe actuar para obtener datos, formular hipótesis y comprobar si tales hipótesis son correctas. A pesar de los múltiples intentos por especificar esta especie de "receta", los metodólogos no han podido acordar más que en algunos lineamientos generales, que a veces parecen seguir los científicos, pero que presentan tantas dificultades que no alcanzan a constituir un método certero para la obtención de los resultados que se proponen o de formulado una descripción "correcta" del objeto de estudio. Por ello, hay quienes sostienen que la investigación científica se parece más a una actividad creativa, — dentro de ciertos límites impuestos por los datos disponibles — que a una actividad clasificatoria y metódica que paso a paso lleve a conocimientos más completos de la realidad y sus transformaciones. Para un mismo conjunto de datos suele haber diversas explicaciones satisfactorias, por lo que se torna necesario po-

nerlas a prueba para ver cuál de ellas puede predecir mejor cambios todavía no observados. Pero aún en el caso de una articulación de los datos que permita una predicción correcta, este éxito no garantiza que las predicciones posteriores sean satisfactorias.

Otro de los factores que hacen imposible obtener una "receta para hacer teorías científicas" es que en ellas aparecen términos teóricos. Estos términos son inobservables y se establecen provisoriamente sobre la base de alguna "ley de correspondencia" que los vinculan con entidades de la base empírica. Pero muchas veces se producen nuevos resultados experimentales que contradicen la correspondencia entre entidades de tercer nivel con las de la base empírica, por lo que la predicción teórica falla. Para "explicar" la mecánica de los cuerpos celestes, Isaac Newton propuso la ley de la gravitación universal sobre la base de que existe "interacción a distancia". Durante casi tres siglos la inobservable "interacción a distancia" fue aceptada unánimemente por la comunidad científica. Sin embargo, ciertos resultados obtenidos mediante la Mecánica Cuántica llevaron a negar su existencia y, hoy en día, uno de los principios de la llamada "Teoría del campo cuántico" establece que *no existe interacción a distancia*. Toda interacción entre cuerpos es mediada por algún tipo de entidad (fotones, gluones, gravitones, etc.)

La inexistencia de un método científico cuya eficacia sea universal hace que, cada tanto, las teorías sean dejadas de lado y reemplazadas por otras que hasta suelen ser incompatibles con las abandonadas. No obstante, las ciencias progresan. Pero ese progreso no se debe a una receta infalible sino a la inventiva de los investigadores para proponer descripciones satisfactorias de la realidad que estudian y a la articulación de la disciplina en cuestión con otros saberes.

Tal como hemos señalado, el ámbito de la creación o formación de la teoría, muestra dos contextos: el contexto de descubrimiento y el contexto de justificación. El "contexto de descubrimiento" corresponde a la etapa en que los científicos proponen hipótesis que puedan servir para explicar un conjunto de observaciones. En cambio, en el "contexto de justificación" se ponen a prueba las hipótesis explicativas propuestas en el contexto de descubrimiento y se pretende averiguar si la hipótesis propuesta es confirmada o no por los hechos.

4 – 2. El método inductivo

Para comenzar la descripción de la etapa de formación de la teoría (contexto del descubrimiento), tomaremos como ejemplo algún conjunto de observaciones que motivó la necesidad de una teoría o hipótesis que lo explique.

El desarrollo de la Química durante los siglos XVII y XVIII, mostró que hay 5 sustancias formadas por nitrógeno y oxígeno, dos sustancias formadas por azufre y oxígeno, una sola formada por cloro e hidrógeno, etc. Joseph Louis Proust (1754 – 1826) se dedicó a analizar la composición de diversas sustancias y encontró que, cualquiera fuese la muestra de una sustancia dada, la proporción entre las masas de sus elementos era siempre la misma. Sobre la base de sus resultados experimentales, corroborados por muchos otros, se formula una generalización empírica: “En cada sustancia compuesta, la relación de masas entre los elementos que la forman es constante”¹. De esta manera, al agrupar un cierto número de observaciones del mismo tipo, descubrió cierta constancia o regularidad: en todos los casos observados: el análisis de una determinada sustancia compuesta muestra una constancia en las proporciones de masa de sus elementos constitutivos. De allí que esa regularidad se pueda enunciar como una ley en la que figura un cuantificador universal: “*Toda sustancia compuesta tiene una composición definida*”.

El ejemplo que acabamos de presentar, es una “afirmación empírica general” ya que alude a cosas observables como las masas de las sustancias compuestas y a las masas de las sustancias simples mediante las cuales se pueden obtener dichos compuestos. Pero no sólo alude a los casos efectivamente observados sino que ese enunciado se extiende a todos

los casos posibles. De modo que al aludir a casos aún no observados, constituye una suerte de predicción.

Al formular una afirmación empírica general, se pasa del nivel I de las afirmaciones empíricas singulares al nivel II de las leyes empíricas.

Esta manera de obtener leyes empíricas se ha denominado “método inductivo”. Podríamos decir que el método inductivo consiste en generalizar la regularidad encontrada en un conjunto de observaciones que fueron realizadas dentro de una gran diversidad de condiciones. A partir de las leyes así obtenidas, se podrán deducir tanto el conjunto de observaciones de que se disponía previamente como nuevos enunciados de observación aún no registrados, es decir efectuar predicciones sobre el comportamiento de las entidades que tratan las leyes.

4 – 3. Método hipotético - deductivo

En 1789, William Higgins al analizar las composiciones de los diversos óxidos de nitrógeno que se conocían propuso que en cada uno de ellos los átomos de nitrógeno estaban unidos a uno, dos, tres, cuatro y cinco átomos de oxígeno. Al hacerlo, no estaba generalizando observaciones previas ya que los átomos son inobservables. Es decir, Higgins postuló su existencia y comportamiento sin demostrarlos. Obviamente, el proceso que llevó a Higgins a proponer tal hipótesis no fue un método inductivo, sino que tuvo que conjeturar la existencia de entidades no observables, (los átomos) que se comportaban de una manera especial. Este tipo de postulaciones, resultan de imaginar las características de entes inobservables que harían posible explicar el comportamiento de lo observable y a esta clase de imaginación se la suele llamar “salto creativo”.

Mediante un salto creativo se puede pasar de los enunciados de segundo nivel (afirmaciones empíricas generales) a los enunciados de tercer nivel (generalizaciones teóricas)

A partir de múltiples ejemplos como el de la postulación de William Higgins, muchos epistemólogos sostienen que la obtención de leyes empíricas y teóricas involucra un “salto creativo” y que la formulación de una ley no necesariamente resulta de la generalización de un gran número de observaciones. Más aún, un científico puede formular una generalización teórica

¹ Claude-Louis Berthollet (1748-1822) se opuso a la conclusión de Proust afirmando que existen compuestos de composición variable dando una cantidad de ejemplos. Proust demostró que los ejemplos de Berthollet eran soluciones o mezclas de varias sustancias formadas por los mismos elementos. No obstante la constancia de la composición de un gran número de sustancias, hoy se conocen muchas cuya composición es variable, como el sulfuro de hierro (II), algunas variedades cristalinas del óxido de hierro (II) como la wüstita y diversos semiconductores. En estos casos, la composición varía debido a que hay defectos en los cristales resultante de la falta de ciertos átomos o iones. También es común la variación de la composición en polímeros de alto peso molecular.

aun habiendo observado un solo caso. Por lo tanto, no es correcto hablar de inducción en la obtención de la ley a partir de un solo caso o de un número reducido de casos y muchos epistemólogos rechazan el método inductivo como explicación de la manera en que los científicos llegan a formular sus leyes. Esta posición epistemológica se conoce como "descripción hipotético - deductivista de la ciencia" para distinguirla de la "descripción inductivista de la ciencia". Ambas posturas disienten también en la forma de describir la obtención de las leyes empíricas.

Resumiendo, según la descripción hipotético - deductiva, la formulación de toda ley o conjunto de leyes implica un salto creativo por parte de quien la formula. Una vez que dichas leyes se formulan, mediante un proceso deductivo se extraerán de ellas algunas conclusiones o consecuencias que permitan contrastar esas leyes con los resultados experimentales.

4 – 4. La contrastación de hipótesis

Ya sea que las leyes se obtengan por inducción o por salto creativo es necesario ponerlas a prueba para determinar si esos enunciados son verdaderos, para lo cual deberán ser confirmados por los hechos, Caso contrario los enunciados serán refutados por la evidencia experimental.

Supongamos que queremos poner a prueba la ley:

“La solubilidad en agua de todos los gases que no reaccionan con ella, disminuye con el aumento de la temperatura”

Si este enunciado resultó de la observación de la solubilidad del oxígeno, el nitrógeno y el helio, la primera puesta a prueba consiste en observar si el enunciado se cumple para estos tres gases. Es decir,

El enunciado propuesto debe explicar todas las observaciones ya realizadas

El hecho que el enunciado haya dado una explicación satisfactoria a las observaciones anteriores, no garantiza que explique todos los casos que todavía no se han observado. Por lo tanto,

Las predicciones que derivan de la hipótesis propuesta deben cumplirse para los casos aun no observados.

Mediante este razonamiento predecimos que "la solubilidad del neón disminuye con el aumento de la temperatura".

Mediante un proceso deductivo efectuamos un enunciado de primer nivel a partir de una ley empírica (enunciado de segundo nivel). Al enunciado de primer nivel así deducido se lo llama "consecuencia observacional".

Efectuada la predicción se plantean dos resultados posibles. O bien la solubilidad del neón disminuye al aumentar la temperatura o bien aumenta. Si la solubilidad aumenta, la "consecuencia observacional" corrobora la ley. Si se encuentra un gas, que no reaccione con el agua, cuya solubilidad aumenta con la temperatura, la consecuencia observacional no se cumple. En ese caso se dice que la consecuencia observacional es falsa. Como la ley pretende ser verdadera para todos los casos, al no cumplirse para uno o más casos, podría decirse que también ella es falsa. En términos estrictos, se afirma que si una de sus consecuencias observacionales es falsa, entonces la ley ha sido refutada. La refutación de una ley consiste en hallar que una de sus consecuencias observacionales no se cumple.

Podríamos seguir haciendo predicciones acerca de la solubilidad del CH_4 , del CH_3F , del Xe , y otros gases, en los cuales la consecuencia observacional corrobora la ley. ¿Podríamos afirmar que la ley es verdadera? Lo único que podríamos decir es que las evidencias con que contamos son compatibles con la suposición de que la ley es verdadera o que, hasta ahora, ninguna consecuencia observacional la ha refutado. Como la ley pretende ser aplicable a infinitos casos, es imposible saber si en el futuro alguna consecuencia observacional la refutará.

4 – 5. Aceptación y rechazo de hipótesis en una disciplina fáctica

Si una hipótesis contiene términos teóricos, resulta imposible comprobarla directamente, ya que los términos teóricos son inobservables. Si, además, esa hipótesis se refiere a un número grande o infinito de casos posibles, la imposibilidad de verificarla resulta

harto evidente. Por ello, en el contexto de justificación, el científico trata de contrastar experimentalmente alguna consecuencia observacional de las hipótesis que contienen términos teóricos. Esta contrastación debe cumplir una de las reglas de la lógica: si la hipótesis es verdadera, entonces, la consecuencia observacional también lo es.

Si de la hipótesis se deduce que necesariamente se debería producir una determinada consecuencia comprobable empíricamente, parecería obvio que un resultado negativo de esa comprobación debe derrumbar a la hipótesis y que un resultado positivo la haría aceptable.

Tomemos como ejemplo la hipótesis “todos los cisnes son blancos”. Al emplear el cuantificador universal “todos” extendemos la afirmación a un número infinito de casos, tanto a los cisnes que existen en la actualidad, como los que existieron en el pasado y los que existirán en el futuro. Podríamos ir a un zoológico donde hay cisnes blancos y comprobar la hipótesis. Podríamos hacer una excursión a campo y, si los cisnes que encontramos son blancos, corroboraríamos la hipótesis. Pero cabe preguntarse ¿Es esto una verificación de la hipótesis? Hasta ahora sólo hemos hallado un número finito de casos presentes en el que la hipótesis se cumple. Bastaría encontrar un cisne que no sea de plumaje blanco para invalidar el uso del cuantificador “todos” y, por ende, nuestra hipótesis.

Durante siglos sólo se conocieron cisnes blancos, por lo que una hipótesis como la formulada más arriba se consideraba verificada. Pero en 1697 fueron descubiertos “cisnes negros” (*Cygnus atratus*) en Tasmania, una isla situada al sur de Australia, lo que invalidaría la generalización. Por ello, en vez de emplear el término “verificación” usaremos la palabra “corroboración” para referirnos a los resultados positivos en las contrastaciones de las hipótesis. Cuando una consecuencia observacional está de acuerdo con lo formulado por una hipótesis general, la consecuencia observacional corrobora la hipótesis, no la verifica.

4 – 6. Contrastaciones negativas. El “modus tollens”

En la llamada “versión simple” del método hipotético deductivo, basta que una contrastación de la hipótesis de resultado negativo para que la misma deba descartarse. Esta versión recurre a un tipo de razona-

miento que se emplea en la Lógica llamado “modus tollendo tollens” (del latín *modo que negando niega*). Este es un razonamiento indirecto, cuyo nombre formal es “prueba indirecta” o “inferencia contrapositiva”.

El silogismo modus tollens toma la siguiente forma de ley lógica:

Si P, entonces Q.
Q es falso.
Entonces P es falso.

El argumento tiene dos premisas. La primera es el condicional “P implica Q”. La segunda premisa indica que Q es falsa. De estas dos premisas se deduce la conclusión de que P debe ser falsa. Si P fuera verdadera, entonces Q lo sería, por la primera premisa, pero no lo es, por la segunda.

En una notación diferente, utilizando operadores lógicos:

$$[(p \rightarrow q) \wedge \sim q] \rightarrow \sim p$$

O también:

$$\begin{array}{c} p \rightarrow q \\ \sim q \\ \hline \sim p \end{array}$$

El modus tollendo tollens fue utilizado por Karl Popper (1902 – 1994) en su respuesta al problema de la inducción, conocida como “Falsacionismo” ya que este filósofo llamaba “falsación” a la refutación de una hipótesis cuando no se verifica alguna de sus consecuencias observacionales.

La manera radical en que Popper consideraba que una hipótesis debía rechazarse no fue aceptada por muchos epistemólogos. En la práctica, ante la producción de una contrastación negativa, la mayoría de los científicos se niegan a descartar las hipótesis que formulan. Tomemos por caso la hipótesis formulada en el Tercer Principio de la Termodinámica: “En el cero absoluto, la entropía de un cristal perfecto de una sustancia pura es nula”. Dada la imposibilidad fáctica de tener un sistema en un estado estable a 0 K, la entropía de una sustancia pura debe calcularse por extrapola-

ción a partir de los resultados que se obtienen a temperaturas muy próximas al cero absoluto. Se han hecho un gran número de determinaciones que corroboran dicha hipótesis. Sin embargo, cuando se calcula la entropía de la sustancia hidrógeno en el cero absoluto se extrapola un valor de $6,2 \text{ J/mol.K}$. En la versión simple del método hipotético deductivo, el Tercer Principio debería ser rechazado. Sin embargo, los científicos han encontrado una justificación para el valor calculado. Existen dos tipos de moléculas de hidrógeno, llamadas orto hidrógeno ($o\text{-H}_2$) y para hidrógeno ($p\text{-H}_2$). Estas moléculas se diferencian en la función de onda debido a la rotación de sus átomos y en su espín nuclear. En ausencia de campos magnéticos, cuando los átomos de hidrógeno se combinan para formar las moléculas lo hacen en una relación 3:1 de $o\text{-H}_2$ a $p\text{-H}_2$. A su vez, para el $o\text{-H}_2$, hay 9 combinaciones posibles de sus estados cuánticos nucleares. Esto hace que, en ausencia de efectos exteriores que modifiquen los estados cuánticos, haya un 75% de $o\text{-H}_2$ en sus 9 estados cuánticos y 25% de $p\text{-H}_2$. De esta manera el hidrógeno se comporta como una solución de 10 componentes y no como una sustancia pura. Sobre la base de que la entropía de cada uno de esos componentes es nula en el cero absoluto y aplicando los cálculos correspondientes a la entropía de mezcla² de tal solución se encuentra el valor $6,2 \text{ J/mol. K}$, lo que corrobora al Tercer Principio.

De este modo se encuentra que una de las dificultades que presenta el rechazo de una hipótesis debido a una contrastación negativa lo constituye la adecuación de la consecuencia observacional al enunciado que se pretende refutar. El hidrógeno no es una “sustancia pura”, en el sentido que le dan los químicos, sino una solución de varios componentes que, si bien tienen el mismo comportamiento químico, tienen distinta conformación molecular.

Notemos que, como al pasar, hemos dicho que “en ausencia de campos magnéticos” los átomos de hidrógeno se combinan en la proporción mencionada. Esta ausencia de campos magnéticos constituye lo que se llama una “hipótesis auxiliar”. Si la formación de hidrógeno molecular hubiese ocurrido en presencia de campos magnéticos, las relaciones entre los componentes sería distinta y el valor que podría presentar la solución en el 0 K podría ser muy diferente lo que, aparentemente, estaría en contradicción con el enunciado del Tercer Principio. Por lo tanto, la contrasta-

ción negativa de una consecuencia observacional llevaría al rechazo de una hipótesis general si refuta exactamente lo que afirma el enunciado de la hipótesis y todas las hipótesis auxiliares involucradas.

En la formulación del Tercer Principio se habla de “cristal perfecto” de una sustancia pura. Este es un ejemplo de las llamadas “hipótesis ad hoc”. Puede ocurrir que al evaluar experimentalmente la entropía de una sustancia pura y calcular su valor en el cero absoluto este sea mayor que cero. En la versión simple del método hipotético deductivo, este resultado refutaría el enunciado general. En 1912, Max Planck introdujo el requisito de que el cristal sea perfecto. Al respecto consideró que si el cristal no es perfecto, sus imperfecciones, por ejemplo la existencia de un hueco, hacen que el cristal se comporte como una solución en la cual las imperfecciones se comportan como “componentes” y por consiguiente en ella hay una “entropía de mezcla”.

Las hipótesis ad hoc, se suelen introducir para salvar una hipótesis general, especialmente aquellas en las que figuran términos teóricos.

La práctica científica está llena de ejemplos en donde frente a una refutación los científicos no abandonan la hipótesis sino que dan argumentos adicionales para explicar la aparente contradicción entre las predicciones de esa ley y las observaciones registradas.

En general, cuando un enunciado general contiene términos teóricos, cabe la posibilidad de neutralizar las refutaciones empíricas formulando hipótesis ad hoc que modifiquen parcialmente el enunciado general o que muestren una falla en alguna de las hipótesis auxiliares. En enunciados generales de segundo nivel, que no contienen términos teóricos, se suelen formular hipótesis ad hoc que se refieren a errores en la observación.

En todos los casos en que se formula una hipótesis ad hoc, esta debe ser contrastada en forma independiente poniéndola a prueba en otros casos que no sean aquellos para los que fue formulada.

El recurso de las hipótesis ad hoc dificulta la refutación de enunciados generales y, por consiguiente, es la mayor traba a la aceptación de la versión simple del método hipotético deductivo. Por otro lado, suelen hacer que los enunciados de tercer nivel mejoren respecto de sus formulaciones originales. Estas hipótesis ad hoc suelen hacer más complejos a los enunciados

² Asociada a la formación de cualquier mezcla, hay siempre un aumento de entropía.

de tercer nivel ya que dan cuenta de diversas variantes en la producción de los cambios observables. En otros casos, como la introducción de la hipótesis de la existencia del éter para justificar el comportamiento de la luz, pueden ocultar la falsedad de una teoría o retardar su abandono. En cualquiera de estos casos, la introducción de las hipótesis ad hoc tiene la virtud de refinar conceptos teóricos o métodos de comprobación experimentales.

4 – 7. Los problemas de la contrastación

La versión simple del método hipotético deductivo que hemos presentado en la sección anterior ha merecido objeciones, basadas en el argumento de que no refleja la complejidad de la estrategia científica real. Si se examina en detalle el marco teórico dentro del cual se lleva a cabo la contrastación de enunciados generales, especialmente de tercer nivel, se encuentra que la versión simple del método hipotético deductivo es insuficiente debido a que, además de los enunciados generales se incluyen hipótesis auxiliares e hipótesis ad hoc. Por otra parte, puede ocurrir que el instrumental empleado para la contrastación no asegure que el resultado obtenido sea verdadero.

Cuando se contrasta una teoría hay diversos tipos de hipótesis que deben tenerse en cuenta.

Toda teoría está inserta en un “marco teórico” constituido por hipótesis y teorías que se dan por verdaderas y que se aceptan sin objeciones. En toda teoría aparecen términos cuyo significado se conoce de antemano debido a que provienen de otras teorías que están incluidas dentro del marco teórico y que, para la teoría en cuestión se consideran “términos presupuestos”. Así, una teoría sobre la dinámica del sólido rígido emplea términos como “masa”, “aceleración”, etc., que corresponden al dominio de la Mecánica Clásica. A su vez, esta Mecánica Clásica emplea conceptos geométricos que derivan de la concepción del espacio absoluto y su estructura euclidiana.

Todas aquellas teorías que, por razones lingüísticas, o porque son necesarias para la deducción de la teoría a contrastar, intervienen en la puesta a prueba de la teoría específica en estudio, se suelen denominar “teorías presupuestas”.

La contrastación de un enunciado de tercer nivel quiere, además, la aceptación de otro tipo de hipótesis o

de teorías que conciernen al material empleado durante la puesta a prueba o al instrumental utilizado durante la misma. Estos suelen ser específicos, como lo son los materiales e instrumentales empleados en el análisis de sustancias inorgánicas que son bastante diferentes a los empleados para analizar sustancias orgánicas.

No siempre, las hipótesis sobre el material de trabajo provienen de algún conocimiento anterior. En muchos casos al diseñar un experimento de contrastación se recurre a suposiciones algo improvisadas, ad hoc, como ser que las sustancias a utilizar tienen un grado de pureza adecuado, etc. Las hipótesis vinculadas a las propiedades de los materiales de trabajo elegido se suelen llamar genéricamente “colaterales”. A su vez éstas podrán ser “subsidiarias” o bien “auxiliares”. Las primeras son aquellas suficientemente corroboradas y aceptadas que expresan nuestro conocimiento anterior del material de trabajo. Las segundas, las que se aceptan provisional y transitoriamente porque sin ellas no puede avanzar la investigación.

Algunos epistemólogos, como Carl Gustav Hempel, llaman “auxiliares” a las hipótesis colaterales. Pero en su acepción general, las hipótesis auxiliares tienen el carácter de postulados, es decir, se aceptan “a priori” como válidas aunque no las haya corroborado nadie. En cambio, las hipótesis subsidiarias expresan conocimiento sobre el material de trabajo.

Por consiguiente, cuando se contrasta una determinada teoría debe considerarse un conjunto de teoría e hipótesis:

- Teoría específica que se contrasta
- Teorías presupuestas
- Hipótesis colaterales subsidiarias
- Hipótesis colaterales auxiliares

Para llevar a cabo la contrastación es necesario evaluar los datos disponibles, las condiciones iniciales, las condiciones de contorno y otros enunciados singulares de primer nivel que detallan aspectos empíricos que pueden estar vinculados con la contrastación.

4 – 8. Los problemas de la refutación

Si la consecuencia observacional está en todo de acuerdo con lo que se deduce de la teoría específica que se somete a prueba, esta teoría es corroborada.

Pero cuando el resultado es negativo cabe preguntarse: ¿Qué hipótesis refuta la consecuencia observacional?

La cantidad de hipótesis presupuestas y colaterales que intervienen en una contrastación suele ser muy grande. En la simple medida del desplazamiento de un cuerpo se ponen en juego la fiabilidad del instrumento de medida, las condiciones de contorno y hasta los principios de la Mecánica. Cada vez que una observación pertinente corrobora alguna teoría, se corrobora, simultáneamente, un gran cuerpo de hipótesis. Pero, ¿qué ocurre si, como resultado de la contrastación, la consecuencia observacional resulta ser falsa? La versión simple del método hipotético deductivo indicaría que la teoría ha sido refutada, y que debe descartarse. Pero como en la contrastación intervienen todas las teorías, las hipótesis y los datos de la base empírica, mencionados en la sección anterior, no podría asegurarse que la teoría específica es la falsa. Podrían ser falsas una o más hipótesis presupuestas, subsidiarias o auxiliares. Hasta los datos podrían estar “perturbados” por mediciones incorrectas o condiciones de contorno mal evaluadas. De modo que una sola observación negativa no permite refutar una teoría de manera concluyente.

Algunos autores, como Karl Popper, consideran que aún los enunciados de primer nivel, enunciados empíricos básicos, tienen carácter hipotético ya que se formulan con el auxilio de un conjunto de conceptos vinculados con el mundo físico que conocemos. Un adulto tiene tan incorporado ese conjunto de conceptos que no le sería fácil percatarse del carácter hipotético de la observación de una mesa. En cambio, si por primera vez desmonta el gabinete de un horno a microondas y observa su interior podría llegar a afirmar que el magnetrón es un transformador. Popper afirma que todo enunciado que emplea conceptos físicos tiene características de hipótesis ya que hace presuponer cual será el comportamiento futuro del ente que se observa.

Si se acepta que los enunciados de primer nivel tienen carácter hipotético, los datos y observaciones pueden ser también los responsables de la refutación y entonces cabe volver a preguntarse ¿Qué es lo que refuta la consecuencia observacional? Si los datos de la base empírica son hipotéticos, entonces la consecuencia observacional también lo es y, por lo tanto, cuando la contrastación es negativa la refutación no es definitiva (ya que experiencias posteriores podrían refutar la aserción de que la consecuencia observacional es falsa) y puede ser revisada en función de nuevos datos. De este modo, toda refutación sería provisoria.

Para salir del entuerto, en cada disciplina los científicos aceptan como indiscutidos una cierta cantidad de resultados experimentales y un conjunto de datos observacionales. En cada disciplina, esos resultados y datos constituyen una “base empírica epistemológica” que, al aceptarse sin discusión, permite elaborar teorías y contrastar únicamente los enunciados de segundo y tercer nivel. Eso no quita que, a lo largo del desarrollo de una ciencia, los resultados experimentales y los datos de la base empírica sean revisados.

4 – 9. La versión compleja del método hipotético-deductivo

Cuando una consecuencia observacional arroja resultado negativo, la precaución elemental que debe tomar quien la realiza es repetir las observaciones a fin de detectar algún error en sus determinaciones. De no hallarlo, debería revisar los datos que surgen de la teoría para comprobar su corrección. Si estas tareas no permiten encontrar las causas del resultado negativo, entonces hay que dejar de lado la búsqueda en el ámbito de la base empírica y tratar de encontrar el origen de la falla entre las hipótesis auxiliares.

A diferencia de las hipótesis secundarias, las auxiliares no expresan un conocimiento adquirido anteriormente. Son suposiciones que no han sido contrastadas con anterioridad y que se plantean para poder llevar a cabo la investigación. A veces se las identifica con las “hipótesis de trabajo”, formulaciones puntuales que sirven como guías para ordenar el curso de una investigación y que deben ser confirmadas por los resultados experimentales.

En la práctica científica es bastante común la formulación de hipótesis auxiliares. Estas hipótesis suelen ser de lo más variadas y plantearlas surge de alguna situación particular.

Supongamos que se quiere llevar a cabo una transformación química en fase condensada que corrobore o no la reactividad de dos tipos de sustancias orgánicas. En este caso se podrían considerar diversas hipótesis: que el resultado puede estar afectado por la temperatura a la cual se lleva a cabo, por la presión ambiental, por el pH del medio, etc. Planteadas las diversas hipótesis ¿cómo determinar que tales o cuales factores son pertinentes, en el sentido que pueden condicionar o modificar el resultado? Obviamente, si se

controlan las condiciones exteriores, la hora en que se efectúa el ensayo no es relevante y el investigador parecería actuar correctamente al desdenarla. También podría considerar que la presión ambiental no influye (sensiblemente) sobre las fases condensadas. Podría considerar que el pH del medio o la temperatura sí pueden afectar el resultado de la prueba. De modo que considerará que hay factores que influyen y otros que no lo hacen. Cuando toma la decisión de declarar que un factor es pertinente para la obtención de un resultado, está formulando una hipótesis que se denomina “hipótesis factorial”.

En aquellos casos en los que una hipótesis factorial no está sustentada por investigaciones anteriores, actúa como “hipótesis auxiliar”. En otros casos, la experiencia previa aconseja tomar en cuenta determinado factor que podría alterar el resultado de una investigación. En este caso, la hipótesis factorial tiene las características de las “hipótesis subsidiarias” que hemos mencionado anteriormente.

En todo diseño experimental debe tomarse la decisión de agrupar todos los factores posibles que puedan intervenir (incluyendo los que no se han efectivamente constatado) para formar un conjunto finito que se llama “hipótesis factorial maximal” que se separa de un conjunto infinito de factores no pertinentes. De esta manera, el investigador intenta investigar las características de una cierta entidad A y las de otra B para decidir si A es o no la causa de B manteniendo como parámetros los factores $P_1, P_2, \dots, P_n$. En muchos casos, la hipótesis que provoca el resultado negativo de una contrastación es una hipótesis factorial, que no es detectada porque el investigador no la incluyó en su lista por no considerarla pertinente.

Otro tipo de hipótesis auxiliares que tiene cierta analogía con las factoriales es la que supone la existencia o no de algún cuerpo, sustancia o individuo que puede cambiar las condiciones en que se efectúa el ensayo. Un ejemplo de este tipo lo constituye la existencia de impurezas en alguna de las sustancias que se intentan hacer reaccionar y que aún en concentraciones mínimas pueden inhibir el proceso.

4 – 10. El uso de las hipótesis “ad hoc”

En ciertos casos, la refutación de una teoría es causada, inequívocamente, por cierta hipótesis auxiliar. Cuando esto ocurre, para proteger a la teoría es-

pecífica sometida a contrastación se requiere descartar la hipótesis auxiliar en cuestión y reemplazarla por alguna otra. A estas hipótesis improvisadas con el fin de salvar o defender a la teoría específica se las llama “hipótesis ad hoc”. En otros términos, una hipótesis ad hoc es aquella creada expresamente para explicar un hecho que contradice una teoría que a uno le interesa defender.

Por ejemplo, a fines del siglo XVII, las observaciones astronómicas mostraron que había una diferencia significativa entre el período de revolución de Júpiter y el que surgía de aplicar la ley de la gravitación universal de Newton. En 1705, Edmond Halley postuló que la diferencia se debía a la interacción gravitatoria con un cometa que ya había sido avistado en 1681. Rehaciendo los cálculos mediante la consideración de esa interacción el período orbital de Júpiter coincidía bastante bien con la ley de Newton. Halley fue más allá y postuló que el cometa iba a ser visualizado desde la Tierra en 1758. Falleció en 1742 por lo que no pudo disfrutar de ver cumplida su predicción.

Un requisito indispensable para la aceptación de una hipótesis ad hoc es que debe ser corroborada independientemente de la situación en que se la introdujo, (con lo que dejaría de ser una hipótesis ad hoc).

El uso de las hipótesis ad hoc fue muy criticado por Popper. Él las consideró “argucias” injustificables destinadas a sostener una teoría aunque sea falsa. No obstante, el uso de las hipótesis ad hoc es bastante común en la actividad científica. En algunos casos permite mantener vigente una teoría defectuosa. En otros casos, como en el experimento de Geiger y Mardsen la hipótesis de que el rebote de las partículas alfa se debe a que impacta sobre un punto que contiene la carga positiva del átomo, puede potenciar el desarrollo científico.

Hay casos en que ninguna de las hipótesis auxiliares parece ser la responsable del resultado negativo de la contrastación. En estas circunstancias corresponde analizar las hipótesis subsidiarias como posibles causas del resultado. Las hipótesis subsidiarias informan acerca de datos o hechos conocidos por lo que la probabilidad de que encontremos a la responsable de la refutación es bastante menor que en el caso de las hipótesis auxiliares. No obstante, es conveniente analizarlas antes de pasar a la etapa siguiente de cuestionamiento de la teoría específica.

Cuando un científico tiene una idea y la formula como hipótesis o teoría, se resiste a descartarla, especialmente si la considera buena. Por ello, si la falla que provoca la refutación no se encuentra en los datos, ni en las observaciones, ni en las hipótesis auxiliares ni en las hipótesis subsidiarias comienza a cuestionarse: ¿No será que estoy presuponiendo teorías erróneas? Y, en muchos casos, comienza a poner en duda las teorías presupuestas, es decir, el marco teórico dentro del cual elaboró su teoría específica y realizó sus investigaciones.

A principios del siglo XX estaba bien establecido el carácter ondulatorio de la luz. Pero con el marco teórico de la óptica ondulatoria, no podía explicarse el llamado “efecto fotoeléctrico” según el cual cuando la radiación electromagnética impacta sobre una superficie metálica provoca que esta emita electrones y que la emisión sólo ocurre si la frecuencia de la radiación supera un cierto valor mínimo. Albert Einstein dio una explicación de este fenómeno rechazando la concepción clásica según la cual la luz es una perturbación ondulatoria que se propaga a una velocidad c , que depende del medio, y cuya energía varía continuamente en función de su amplitud. Postuló, en cambio, que la luz se puede comportar como si fuese un haz de entidades (fotones) que, al igual que los corpúsculos, pueden intercambiar energía y cantidad de movimientos con los átomos de la superficie metálica. Que la energía cada uno de esos fotones depende de la frecuencia de la luz y no de su amplitud y que esa energía no podía variar en forma continua sino en forma discreta. Modificando el marco teórico de esta manera, pudo lograrse una concordancia entre la teoría específica de la fotoelectricidad y los resultados experimentales.

La historia de la ciencia ha demostrado que en la mayoría de los casos, la versión simple del método hipotético deductivo no se aplica sino que, ante una contrastación negativa de una teoría, se rehacen los cálculos, se controlan los datos, se revisan las hipótesis auxiliares y las subsidiarias y hasta se cuestionan las teorías presupuestas. Una teoría específica tiene que ser groseramente inconsistente para que se derrumbe ante la primera refutación.

Quizás uno de los ejemplos que demuestran lo que hemos llamado “versión compleja” del método hipotético deductivo lo constituya el geocentrismo. Esta teoría fue compilada por Claudio Ptolomeo, el más famoso de los astrónomos de la antigüedad. Alrededor del año 150 d.C., escribió una monumental obra con características de una enciclopedia de astronomía. Su

nombre original “La Colección Matemática” cambió luego a “El Gran Astrónomo”, para distinguirla dentro de un conjunto de otros textos editados por otros autores, como Euclides y Menelaus, agrupados bajo el título “El Pequeño Astrónomo”. Para poder explicar, sus anomalías, los astrónomos árabes le fueron introduciendo modificaciones y ya en el siglo IX, se comenzó a conocerla como el “Almagesto”, o “El Gran Tratado”. En el siglo X, el Almagesto con sus modificaciones constaba de trece volúmenes que describían el sistema geocéntrico, los planetas, el Sol y las estrellas fijas, de los eclipses, de geometría y trigonometría, de la construcción de instrumentos y observatorios astronómicos.

En el modelo geocéntrico se usan tres construcciones básicas para explicar el movimiento de los cuerpos celestes: la excéntrica, la epicíclica, y una ecuatorial. En la construcción excéntrica algunos planetas giran describiendo una circunferencia alrededor de la Tierra pero no exactamente con centro en la misma. Esta no es una trayectoria fija sino movable.

En la construcción epicíclica los planetas se movilizan en círculos que rotan sobre la circunferencia del círculo mayor cuyo centro se encuentra sobre la Tierra. Con esto se explicaba el retroceso aparente en la trayectoria de Marte.

Como las dos construcciones anteriores no lograban una explicación satisfactoria para los movimientos observados de algunos planetas, se le agregó una tercera, la ecuatorial. Esta era una combinación de las otras dos.

La concepción geocéntrica fue prácticamente indiscutida hasta principios del siglo XVI a pesar de que las predicciones sobre la posición de los cuerpos celestes o las descripciones de sus trayectorias a menudo fallaban. Para corregir esas fallas los astrónomos ptolemaicos recurrían a agregar nuevos epiciclos y deferentes a la manera de hipótesis ad hoc.

Poco antes de morir, Nicolás Copérnico publicó un modelo matemático para describir los movimientos planetarios basado en un sistema heliocéntrico. En este modelo las llamadas estrellas fijas dejaban de tener que girar en torno a la Tierra en 24 horas. Básicamente, en la construcción de su sistema, Copérnico trasladó toda la descripción del Universo y sus movimientos, de la Tierra al Sol. La esfera última de las estrellas fijas marcaba el límite del Universo de la misma manera que lo hacía en el geocentrismo cosmológico. La gran diferencia que se establece entre el modelo ge-

océntrico y el que propugnó Copérnico radica en la recreación que hacen cada uno de ellos del movimiento de los planetas. En el sistema cosmológico ptolemaico, se debían introducir diversos epiciclos mayores y menores, además de los deferentes; Copérnico, en cambio, eliminó los epiciclos mayores para explicar el fenómeno de la retrogradación. El movimiento característico de un planeta es tan sólo aparente, su trayectoria cambia de dirección por efecto del movimiento de la Tierra en su traslación alrededor del Sol.

El aparato matemático de Copérnico fue completado por Kepler, quien propuso la hipótesis de órbitas elípticas en lugar de circulares y estableció las tres leyes que llevan su nombre.

El gran astrónomo danés Tycho Brahe descreyó del modelo heliocéntrico y planteó el problema del paralaje estelar. Si la Tierra describe un movimiento circular (o elíptico) anual alrededor del Sol en junio y diciembre se encuentra en posiciones diametralmente opuestas de su órbita. Por lo tanto si se observan las llamadas “estrellas fijas” en diciembre su dirección deberá ser diferente a la observada en junio. El ángulo formado entre ambas direcciones se llama ángulo de paralaje estelar. Tycho Brahe, utilizando su famoso sextante no pudo observar cambios en la dirección y, por lo tanto, se manifestó en contra de la teoría copernicana.

La teoría heliocéntrica fue teniendo aceptación, especialmente a partir de la aparición de una supernova en 1572 que brilló enormemente durante 18 meses y las observaciones de Galileo quien encontró que las lunas de Júpiter orbitaban alrededor de ese planeta y no alrededor de la Tierra. Sin embargo, los partidarios del geocentrismo seguían insistiendo en que la Tierra era el centro del Universo (por lo que había un origen de coordenadas universal) a la vez que refutaban al heliocentrismo mediante el resultado negativo de la determinación del ángulo de paralaje.

Las estrellas fijas están a una distancia tan grande de nuestro sistema solar que el ángulo de paralaje sólo pudo ser observado en 1838 gracias a la construcción de telescopios más potentes. Con estos resultados, la teoría geocéntrica entró decididamente en decadencia, pero tuvieron que transcurrir más de 1600 años para que fuera descartada. Hoy el mundo en general acepta el heliocentrismo, exceptuando algunos astrónomos musulmanes, como Fadhel Al-Sa’d que, basándose sobre lo que establece el Corán siguen sosteniendo que el Sol gira alrededor de la Tierra.

Resumiendo, en la versión simple se supone que una teoría científica es un conjunto de hipótesis que puede ser comparado, mediante relaciones deductivas, con lo que muestra la base empírica. Si no hay concordancia, la teoría debe descartarse. A lo largo de la historia de la ciencia, el abandono continuo de teorías equivocadas es lo que provoca el progreso científico. En tanto no se produzca una refutación la teoría se mantiene corroborada. Pero no deja de ser una teoría provisoria ya que en algún momento alguna contrastación la refutará.

En cambio, el método hipotético deductivo en versión compleja concibe a una teoría científica como formando parte, según el contexto y las circunstancias, de una red de hipótesis vinculadas con el material de trabajo, con teorías presupuestas y con observaciones que pueden ponerse en duda y ser responsables de las refutaciones. En el caso de no existir concordancia entre lo que predice la teoría específica y los resultados experimentales, el método propone examinar las distintas hipótesis y observaciones presentes en la contrastación y tratar de encontrar qué dato de la base empírica o qué hipótesis son los responsables del resultado negativo. De este modo, una teoría no se abandona porque presenta refutaciones, ya que la responsabilidad podría recaer sobre hipótesis ajenas a ella o sobre las observaciones.

Además, una teoría descartada en cierto momento puede volver a ser aceptada por la comunidad científica si se ponen en tela de juicio los datos que han servido para refutarla o las hipótesis auxiliares que han intervenido en la refutación.

Bibliografía

Bar-Hillel, Y, Bunge, M., Mostowski, A., Piaget, J., Salam, A., Tonal, L. y Watanabe, S.: (1983). *El pensamiento científico. Conceptos, avances, métodos*. Ed. Tecnos-Unesco. Madrid.

Chalmers, A.F.: (1988) *Qué es esa cosa llamada ciencia*. Siglo XXI Editores. Buenos Aires.

Klimovsky, G.: (2005) *Las desventuras del conocimiento científico* 6ª. Edición. AZ editora. Buenos Aires.

Lorenzano, C. J. (1994). *La estructura del conocimiento científico*. 2ª. Edición. Editorial Biblos. Buenos Aires.