

# TEORÍAS DE LA CIENCIA

## PRIMERAS APROXIMACIONES

Santiago Ginnobili  
Mariela Natalia Destéfano  
Sabrina Haimovici  
Martín Narvaja  
María del Carmen Perot

 *Peudeba*

Ginnobili, Santiago / Mariela Natalia Destéfano /  
Sabrina Haimovici / Martín Narvaja / María del Carmen Perot.

Teorías de la Ciencia. Primeras aproximaciones/

2ª ed. - Buenos Aires: Eudeba, 2016

320 p. 14x21 cm.



Eudeba

Universidad de Buenos Aires

Segunda edición:

© 2016

Editorial Universitaria de Buenos Aires

Sociedad de Economía Mixta

Av. Rivadavia 1571/73 (1033) Ciudad de Buenos Aires

Tel.: 4383-8025/Fax: 4383-2202

[www.eudeba.com.ar](http://www.eudeba.com.ar)

ISBN

Impreso en Argentina.

Hecho el depósito que establece la ley 11.723

10. El 80 % de las personas que tienen fiebre tienen dolores musculares.
11. Si un niño tiene fiebre, pierde el apetito.
12. Esta mañana ingresaron 20 chicos al hospital con fiebre y falta de apetito.
13. El 20 % de los que ingresaron esta mañana al hospital tiene fiebre.
14. El 20 % de los que ingresaron esta mañana al hospital se encuentran infectados por el virus de la varicela.

### 3. Contrastación de hipótesis

Hemos llegado al punto central de este capítulo. Comencemos nuestro análisis a partir de un ejemplo que suele aparecer en los manuales de historia de la biología.<sup>1</sup> Es sabido que en la materia inerte como, por ejemplo, en la carne podrida aparecen gusanos y otros organismos. He aquí la posibilidad de plantear un problema científico simple: ¿cómo se explica la aparición de estos seres vivos en la materia inerte? Muchos científicos del siglo XVII solían asumir la hipótesis de la generación espontánea para dar cuenta de este problema. Podemos expresar la hipótesis de la generación espontánea de la siguiente manera:

H1: Los gusanos pueden generarse espontáneamente a partir de la materia inerte.

¿Cómo hacemos para contrastarla empíricamente? Este enunciado es una generalización empírica, es decir, es un enunciado general y no contiene términos teóricos. En adelante, debemos tener en cuenta que las hipótesis científicas con las que estudiaremos el tema de la contrastación tienen esta estructura relativamente simple. Trataremos únicamente la contrastación de enunciados universales. No vamos a estudiar la puesta a prueba de las hipótesis que tienen la estructura de generalizaciones empíricas existenciales o probabilísticas. La contrastación de este tipo de enunciados tiene complicaciones adicionales que no es necesario abordar en este capítulo.

---

<sup>1</sup> Ver Rostand (1966).

Lo que debemos preguntarnos entonces es qué consecuencia que podamos observar podría tener esta hipótesis. Podemos inferir de ella que la materia inerte que no toma contacto con agentes externos (por ejemplo, moscas que pongan huevos de los que las larvas surjan) generará gusanos. Sin embargo, el enunciado:

“La materia inerte que no toma contacto con agentes externos generará gusanos” es también una generalización empírica y presenta, por lo tanto, las mismas dificultades que nuestra hipótesis original (H1). Lo que cualquier biólogo haría es un experimento. Por ejemplo, en el siglo XVII Francesco Redi puso a prueba H1 de la siguiente manera. Colocó trozos de carne en varios frascos de boca grande, cubriéndolos con un papel herméticamente atado y sujeto.

Al haber procedido como Redi, podemos encontrar con dos posibles situaciones. La primera situación posible es que aparezcan gusanos en los frascos que fueron tapados. Esta situación parece acomodarse a la idea expresada por H1 de que los gusanos se generan por la sola presencia de la materia inerte. Pero hay una segunda situación que consiste en la posibilidad de que no aparezcan los gusanos en los frascos tapados. En este caso, parecería que fallaría la idea de la generación espontánea planteada en H1.

Lo que acabamos de ver es bastante intuitivo y constituye una descripción informal de una contrastación de hipótesis. Sin embargo, para poder establecer con claridad y precisión en qué consiste una contrastación, conviene reconstruir su proceso lógicamente.

Lo que debe hacerse para contrastar una hipótesis cualquiera es deducir de ella un enunciado básico. Recordemos que un enunciado básico es un enunciado singular sin términos teóricos. La deducción supone siempre

considerar condiciones iniciales que, en este caso, son los pasos experimentales descriptos por enunciados básicos. Así, de nuestra hipótesis, (H1), “Los gusanos pueden generarse espontáneamente a partir de la materia inerte”, y de la condición inicial del experimento (CI1), “Se coloca carne fresca en el frasco 1” y la (CI2), “Se cierra el frasco 1 con papel”, se deduce un enunciado básico que llamaremos “consecuencia observacional” de H1 (CO1), “En el frasco 1 habrá gusanos”. Esto es lo se espera que pase a la luz de H1. Recuerden que las consecuencias observacionales describen cosas que podrían llegar a pasar asumiendo la hipótesis principal.

Luego, hay que realizar las observaciones y experiencias pertinentes. Seguimos a Redi en los pasos de su experimento. En la próxima sección estudiaremos ambas alternativas que pueden sucederse luego de colocar la carne en los frascos y taparlos con papel.

### 3.1. Asimetría de la contrastación

Notemos qué ocurre si la consecuencia observacional CO1 es falsa. Vimos informalmente que la consecuencia observacional se deduce de la hipótesis. Es decir, si la hipótesis es verdadera, entonces la consecuencia observacional debe ser verdadera. Este enunciado tiene la forma de un condicional material.

$$H1 \rightarrow CO1$$

Si es cierto que los gusanos pueden generarse espontáneamente a partir de la materia inerte, entonces en el frasco 1 habrá gusanos.

Si la consecuencia observacional resulta falsa, podemos negar H1. Es posible obtener la negación de la hipótesis por un Modus tollens, una forma de razonamiento válida:

$$\frac{H1 \rightarrow CO1 \quad \sim CO1}{\sim H1}$$

Es decir, si H1 implica a CO1, y CO1 es falsa, H1 tiene que ser indefectiblemente falsa. Así, si alguna de las consecuencias observacionales de una hipótesis resulta falsa, y la consecuencia observacional se deduce solo de la hipótesis, entonces la hipótesis se refuta o falsea concluyentemente.

Veamos ahora el caso en que la consecuencia observacional es verdadera. Supongamos que en el frasco 1 sí aparecen gusanos, ¿podemos afirmar que H1 es verdadera?

Si respondiéramos afirmativamente, nuestro razonamiento tendría la siguiente forma:

$$\frac{H1 \rightarrow CO1 \quad CO1}{H1}$$

¡Pero esta forma de razonamiento es inválida! Es una falacia de afirmación del consecuente. Si H1 implica a CO1 y CO1 resulta verdadera, no podemos afirmar con total seguridad que H1 sea verdadera. Dicho de otro modo, verificar una consecuencia observacional de una hipótesis no verifica la hipótesis, así como sí sucede que falsear una consecuencia observacional de una hipótesis también falsea a la hipótesis.

Una consecuencia interesantísima de este análisis es la llamada “asimetría de la contrastación”:

**Asimetría de la contrastación:** aunque es lógicamente posible refutar una hipótesis a través de sus consecuencias observacionales mediante un *Modus tollens*, es lógicamente imposible verificarla a partir de la verificación de sus consecuencias observacionales, pues ello tendría la forma de una falacia de afirmación del consecuente.

Por este motivo, no se puede sostener de ninguna hipótesis general de toda la ciencia actual que sea verdadera sin lugar a dudas, ni que esté demostrada, ni que esté verificada, ni nada por el estilo. La ciencia es falible. Las hipótesis pueden ser en cualquier momento refutadas por la experiencia. Todos los éxitos que hayan tenido al hacer predicciones en el pasado no implican que seguirán teniendo éxito en el futuro ni que sean verdaderas ciertamente. Por otro lado, esto no debe ser desalentador. En esta fragilidad radica la fuerza de la ciencia, en el hecho de que somete sus juicios al examen de la experiencia.

Por otra parte, si es posible lógicamente mostrar que una hipótesis es falsa (si bien, ahora pondremos algunos peros a esta cuestión). De hecho, la materia inerte que es privada del contacto con agentes externos del modo planteado por Redi, no genera gusanos, pero ¿implica esto que, sin lugar a dudas, la hipótesis en cuestión es falsa? Discutiremos esto más sofisticadamente en el siguiente punto.

### ACTIVIDAD 3

Los elementos de la contrastación que hemos estudiado hasta ahora son los siguientes:

**Hipótesis:** es un enunciado ofrecido por el científico para explicar un fenómeno cuyo valor de verdad todavía no está determinado.

**Condiciones iniciales:** son enunciados singulares que se presuponen en la contrastación para poder deducir las consecuencias observacionales de la hipótesis.

**Consecuencias observacionales:** son enunciados singulares deducibles de la hipótesis (en conjunción con ciertas hipótesis subsidiarias como las condiciones iniciales), los cuales expresan los hechos que deberían esperarse que sucedan a partir de la admisión de una hipótesis.

Al tomar en cuenta la siguiente hipótesis:

“Las dietas a base de hidratos de carbono producen un incremento en el peso”, es posible extraer la siguiente consecuencia observacional: “Juan incrementará su peso”, si se presupone la siguiente condición inicial: “Juan come pastas todos los días”.

Del mismo modo, pero tomando en este caso en consideración la hipótesis: “Las dietas con azúcar provocan caries”, respondan las siguientes consignas:

- a. Extraigan una consecuencia observacional de la hipótesis en cuestión. Recuerden que debe ser un enunciado singular observacional que se deduzca de las hipótesis. Tengan en cuenta, también, que no se debe describir el resultado del experimento o la observación, sino que se debe describir lo que se esperaría que ocurriera en caso de que la hipótesis fuese verdadera.
- b. Señalen alguna condición inicial presupuesta para extraer la consecuencia observacional extraída en el punto anterior (a.). Recuerden que las condiciones iniciales son singulares.

### 3.2. Hipótesis subsidiarias que intervienen en la contrastación

Al extraer la forma de la contrastación en el punto anterior, no tomamos en cuenta las condiciones iniciales. Estrictamente, la forma de la contrastación es algo más complicada. Habíamos dicho que el razonamiento de la refutación era así:

$$\begin{array}{r} H1 \rightarrow CO1 \\ \sim CO1 \\ \hline \sim H1 \end{array}$$

Pero en realidad, la primera premisa es distinta, está algo simplificada, porque estrictamente CO1 no se deduce solo de H1 sino de la conjunción de H1 y las condiciones iniciales. Es decir, para deducir de la hipótesis “Los gusanos pueden generarse espontáneamente a partir de la materia inerte”, la consecuencia observacional “En el frasco 1 habrá gusanos”, es necesario presuponer las condiciones iniciales CI1, “Se coloca carne fresca en el frasco 1” y CI2, “Se cierra el frasco 1 con papel”.



Es la conjunción de H1, CI1 y CI2 lo que implica CO1. Dado que la primera premisa es algo más complicada, la conclusión también lo será. Recordemos que el *Modus tollens* permite negar en la conclusión el antecedente de la primera premisa, y el antecedente en este caso es una conjunción. La forma del razonamiento refutatorio sería en este caso:

$$\frac{\begin{array}{l} (H1 \cdot CI1 \cdot CI2) \rightarrow CO1 \\ \sim CO1 \end{array}}{\sim (H1 \cdot CI1 \cdot CI2)}$$

Lo fundamental aquí es notar que “ $\sim (H1 \cdot CI1 \cdot CI2)$ ” no es equivalente a “ $\sim H1 \cdot \sim CI1 \cdot \sim CI2$ ”. En el segundo caso se dice que cada uno de los enunciados son falsos, mientras que en el primero se dice que los enunciados en cuestión no pueden ser todos verdaderos. Esto resulta evidente si se comparan las tablas de verdad (vistas en el capítulo II) de “ $\sim (p \cdot q \cdot r)$ ” y “ $\sim p \cdot \sim q \cdot \sim r$ ”

La primera proposición niega que toda la conjunción sea verdadera, mientras que la segunda afirma que cada una de las proposiciones puestas en conjunción son falsas. Si “ $\sim (p \cdot q \cdot r)$ ” y “ $\sim p \cdot \sim q \cdot \sim r$ ” fuesen equivalentes, los valores de las tablas de verdad coincidirían.

El *Modus tollens* nos dice, entonces, que H1 es falsa, que CI1 es falsa, CI2 es falsa o que todas lo son. Pero, entonces puede ocurrir que la falsedad de la consecuencia observacional no se deba a la falsedad de hipótesis (H1), sino a la falsedad de las condiciones iniciales (CI1 y CI2). Es decir, puede ser que sea cierto que los gusanos pueden generarse espontáneamente a partir de la materia inerte, pero que no sea cierto que, por ejemplo, se haya cerrado el frasco con papel de la manera correcta. Al no cerrarse correctamente el frasco 1, la carne no estaba en las condiciones de aislamiento necesarias como para sostener que los gusanos pueden generarse espontáneamente a partir de la sola materia inerte.

Esto tiene una consecuencia importantísima que explica ciertas cuestiones habituales de la práctica científica. Frente a un resultado adverso, en una contrastación los científicos pueden salvar la hipótesis principal culpando de la refutación a la no ocurrencia de las condiciones iniciales. Sin embargo, si seguimos explicitando los presupuestos de la contrastación del ejemplo visto, vemos que la situación es todavía más compleja, ya que hay otras hipótesis involucradas en el proceso. Llamaremos “hipótesis subsidiarias” a todos los enunciados presupuestos en la contrastación. Repasaremos, a continuación, distintos tipos de hipótesis subsidiarias. Hasta ahora hemos estudiado solamente un tipo de hipótesis subsidiarias, que son las condiciones iniciales. A ellas, debemos sumarles las que siguen.

### 3.2.1. Hipótesis auxiliares

Además de enunciados singulares, existen enunciados generales que llamaremos “hipótesis auxiliares”. Las hipótesis auxiliares son enunciados generales que pueden provenir de la misma o de otras disciplinas científicas. En el ejemplo que estamos utilizando, hemos dado por hecho varias cuestiones, por ejemplo, que los gusanos surgen de huevos dejados por moscas, el método empleado para tapar los frascos es efectivo, que el papel no deja pasar moscas, etc. Lo que las distingue de las condiciones iniciales es su generalidad. “La carne utilizada en el experimento es de pollo” sería una condición inicial, puesto que es singular, mientras que “Los gusanos de moscas pueden vivir en la carne de pollo” sería una hipótesis auxiliar, puesto que es general.

De la hipótesis principal, junto con estos enunciados generales que llamamos hipótesis auxiliares, pueden obtenerse nuevas hipótesis generales en un proceso de deducción. Llamamos a este género de hipótesis generales *hipótesis derivadas*. La presencia de hipótesis derivadas nos muestra la posibilidad potencialmente infinita de deducir enunciados

generales (y no solamente consecuencias observacionales) a partir de una hipótesis principal. De esos enunciados generales, algunos tienen mayor relevancia científica que otros, pero lo que debemos destacar es que este tipo de enunciados se contraponen a las hipótesis auxiliares. Aunque hipótesis derivadas y auxiliares son enunciados generales, las primeras se siguen de la hipótesis principal y las segundas son independientes de la hipótesis principal.

### 3.2.2. Cláusulas *ceteris paribus*

Existe, finalmente, un tipo de hipótesis presupuesto en toda contrastación que afirma algo como “No hay factores relevantes no tomados en cuenta”.

Supongamos que cuando realizamos la experiencia con los trozos de carne, sin querer hemos tomado frascos contaminados con una sustancia que evita la proliferación de gusanos. En este caso, si observáramos que en el frasco 1 no hay gusanos, no deberíamos poner en cuestión la hipótesis principal, ni las condiciones iniciales, sino la cláusula *ceteris paribus*, pues existiría un factor relevante que no ha sido tomado en cuenta al realizar la deducción de la consecuencia observacional, la presencia de la sustancia que evita la aparición de gusanos.

### 3.3. Contrastación con todos los componentes señalados

Reconstruyamos la contrastación presentando, en este caso, las hipótesis subsidiarias presupuestas y explicitando los medios de experimentación:

H1: Los gusanos pueden generarse espontáneamente a partir de materia inerte.

CP: No hay factores relevantes no tomados en cuenta.

HA1: El papel no deja pasar moscas.

HA2: Los gusanos surgen de huevos dejados por moscas.

CI1: Se coloca la carne en el frasco 1.

CI2: Se cierra el frasco 1 con papel.

CO1: En el frasco 1 habrá gusanos.

La HA1 no es una condición inicial, como vimos, porque es un enunciado general. Noten que en este caso se trata de una hipótesis que ni siquiera pertenece a la biología. Siempre hay hipótesis auxiliares acerca del material utilizado en la experimentación, o acerca de los instrumentos utilizados en la observación. Todas estas condiciones se relacionan con las cosas que hace el científico para llevar a cabo el experimento. Estas son condiciones iniciales experimentales, aunque también hay condiciones iniciales no experimentales que no tendremos en cuenta en este capítulo. La reconstrucción de una contrastación es una tarea ardua, pues son muchas las hipótesis subsidiarias presupuestas, y explicitarlas todas resulta a veces difícil. Con las hipótesis consideradas, el razonamiento de la refutación sería, entonces:

$$(H1 \cdot CP \cdot HA1 \cdot HA2 \cdot CI1 \cdot CI2) \rightarrow CO1$$

$$\sim CO1$$


---


$$\sim (H1 \cdot CP \cdot HA1 \cdot HA2 \cdot CI1 \cdot CI2)$$

Si la consecuencia observacional resultara falsa puede ser que la refutación se deba a que la hipótesis H1 es falsa, o que alguna de las hipótesis auxiliares sea falsa, o alguna de las condiciones iniciales presupuestas, lo sea. Como veremos en la próxima sección, un científico que se encuentre convencido de la hipótesis de la generación espontánea podría dudar de alguna de las otras hipótesis intervinientes.

## ACTIVIDAD 4

Hemos visto que las hipótesis contrastadas no solamente están acompañadas por las condiciones iniciales; también están acompañadas por:

**Hipótesis auxiliares:** enunciados generales utilizados conjuntamente con la hipótesis contrastada, cuya verdad no depende de la contrastación en la que participan, pues se suponen verdaderos a los fines de la contrastación que se está llevando a cabo.

**Hipótesis *ceteris paribus*:** afirma que no existen factores relevantes que no estén siendo tomados en cuenta.

- a. Consideren la siguiente hipótesis: “Las dietas ricas en sal elevan la presión sanguínea”. Indiquen las condiciones iniciales y las hipótesis auxiliares necesarias para deducir la consecuencia observacional “El tensiómetro aplicado a Carla marcó 170/100 en su indicador”. Noten que, tal vez, sea necesario indicar hipótesis auxiliares al respecto de las comidas ricas en sales, que marquen la relación entre el tensiómetro y la presión.
- b. Señalen alguna hipótesis auxiliar presupuesta que acompaña la hipótesis principal propuesta en la Actividad 3.

## ACTIVIDAD 5

Un buen ejercicio para practicar la identificación de las hipótesis subsidiarias que acompañan a la hipótesis principal de una investigación consiste en apelar a la historia de la ciencia y estudiar algunos de los casos de investigación más resonantes de la ciencia empírica. Una de estas investigaciones pertenece al área de las ciencias médicas. Con su trabajo relativo a la viruela, el médico inglés Jenner fue uno de los primeros en desarrollar el principio básico que subyace a la creación de las vacunas. Lean el caso de investigación e identifiquen:<sup>2</sup>

- a. El fenómeno a explicar.
- b. La hipótesis contrastada, condiciones iniciales, consecuencias observacionales e hipótesis auxiliares.

En el siglo XVIII la viruela se había convertido en una tremenda plaga que amenazaba tanto a Europa como a América. Fue el médico inglés Edward Jenner quien, estando de visita en una granja, descubrió la manera de detener el avance indiscriminado de esta enfermedad. Jenner prestó especial atención a los comentarios de los campesinos según los cuales las mujeres

---

<sup>2</sup> Basado en Moledo y Magnani (2009).

ordeñadoras de vacas, que solían contraer la viruela bovina, transmitida de manera directa de las ubres de la vaca al ordeñador, no desarrollaban la peligrosa viruela humana. Tomando en cuenta esta creencia popular Jenner consideró que la presencia de pequeñas dosis del agente de la viruela bovina en un organismo podría inmunizarlo en relación con la viruela humana. Para poner a prueba esta idea, procedió de la siguiente manera. Tomó fluido linfático de la mano de una lechera infectada con viruela bovina y lo inoculó en el brazo de un niño sano de ocho años llamado James Phipps. El médico introdujo el material infectado, a través de una serie de cortes superficiales hechos en el brazo del niño. A pesar de que a las dos semanas James manifestó algunos síntomas leves de fiebre y dolor corporal, el niño nunca manifestó la enfermedad de la viruela humana. La experiencia con el joven James parecía dar aval a la idea de Jenner de que el suministro de pequeñas dosis de fluido infectado con viruela bovina generaba la inmunización del organismo para el caso de la viruela humana. Esta constituiría la primera práctica de vacunación en la historia de la ciencia, aunque Jenner no tenía idea del agente causal de la enfermedad ni del mecanismo por el cual se producía la inmunización.



Figura 1. La viruela bovina o los maravillosos efectos de la nueva inoculación.

Caricatura de James Gillray de 1802

### 3.4. Hipótesis *ad hoc*

Las hipótesis *ad hoc* son hipótesis que, en un caso negativo en una contrastación particular, son utilizadas al solo efecto de salvar de la refutación a la hipótesis a contrastar, negando alguna de las otras hipótesis o condiciones iniciales presupuestas en la extracción de la consecuencia observacional en juego.

Supongamos que la hipótesis auxiliar y las condiciones iniciales de nuestra contrastación estuvieran bien establecidas, pero que, pese a ello, algún biólogo deseara sostener, a toda costa, la corrección de H1. Serían ejemplos de hipótesis que podrían utilizarse para salvar de la refutación a H1:

Hah1: El papel X deja pasar a las moscas.

Hah2: El frasco 1 no ha sido correctamente cerrado con papel.

Hah3: En el frasco no se ha colocado carne.

En realidad, es posible salvar a la hipótesis “culpando” a cualquiera de las hipótesis subsidiarias presupuestas, explicitadas o no. Además, es posible “culpar” a la *ceteris paribus*, señalando algún factor no tomado en cuenta, por ejemplo, “Existe un factor relevante no considerado, se han usado frascos contaminados con una sustancia que evita la generación de gusanos”.

Sería ideal poder establecer cuándo una hipótesis *ad hoc* es adecuada y cuándo no. Lamentablemente, no existe un criterio que pueda cumplir con esta función. En los casos citados es posible idear formas independientes de contrastar la hipótesis auxiliar de manera independiente a esta contrastación (idear un experimento para ver si el papel deja pasar o no a las moscas) y evaluar la verdad de las condiciones iniciales (por ejemplo, si el frasco se encuentra bien cerrado o no). De este modo, se evalúa la adecuación de las hipótesis *ad hoc* propuestas. Es deseable, por lo tanto, que siempre se utilicen hipótesis *ad hoc* que sean contrastables independientemente del experimento en cuestión. Pero esto no siempre es posible.

Existen casos históricos en los que se han utilizado hipótesis *ad hoc* que en el momento no podían ser testeadas. Al retomar algunas cuestiones del capítulo I: *Historia de la ciencia. Dos revoluciones*, uno de los más famosos es el de la hipótesis *ad hoc* introducida por Nicolás Copérnico para explicar que el ángulo de la paralaje no se modificara con el mo-

vimiento de la Tierra. Generalmente, se simplifican las controversias científicas del pasado (Thomas Kuhn dice cosas muy interesantes al respecto, como veremos más adelante, en el capítulo IV) subestimando la inteligencia o poniendo en cuestión la buena voluntad de los científicos que se opusieron a lo que luego resultó un cambio progresivo. Así, se suele presentar a los geocentristas (los que consideraban que la Tierra se encontraba inmóvil en el centro del universo), como retrógrados, conservadores, etc. Pero cuando Copérnico propuso su sistema heliocentrista, con el Sol en el centro del universo, realmente había buenas razones para no aceptar este cambio. Una de ellas tenía que ver con lo siguiente: si la Tierra se moviera, razonaban por entonces, las posiciones de las estrellas fijas, con respecto a algún punto en la Tierra, deberían cambiar. Es decir, si en enero se fijaba un tubo a través del cual se veía cierta estrella, a los seis meses, a la misma hora, si la Tierra se movía, la estrella debería dejar de verse a través de dicho tubo (ver figura 2).



Figura 2. Lo que se debería observar si la Tierra cambiara de posición según los geocentristas.

Cuando en la época de Copérnico se realizaban tales experiencias, no se observaba que la estrella cambiase su posición (sí a lo largo del día, por supuesto, pero no a la misma hora en días distintos). Esto implicaba una refutación contundente del movimiento de la Tierra. Sin embargo, Copérnico introdujo una hipótesis ad hoc extremadamente audaz. Hasta el



momento no había razones para considerar que las estrellas, que tanto él como los ptolemaicos creían engarzadas en la esfera de las estrellas fijas, estuviesen lejos de la Tierra. Para salvar la hipótesis, Copérnico sostuvo que la esfera de las estrellas fijas estaba extremadamente lejos, de modo tal que la modificación de la posición de la estrella no era perceptible.

¿Qué razones tenía Copérnico para considerar que el universo era enorme, más grande de lo que nadie hubiera considerado hasta el momento? Únicamente que las posiciones relativas de las estrellas no se modificaban. A la larga, la conjetura de Copérnico resultó correcta. Los cambios de la paralaje fueron determinados por primera vez en el siglo XIX. Pero en el siglo XVI: ¿qué era más racional, considerar que la Tierra estaba quieta o considerar que el universo era enorme? No hay una respuesta clara. Lo interesante al respecto es que se trata de una problemática con la que se enfrentan los científicos todo el tiempo y que estuvieron discutiendo por siglos sin llegar a un acuerdo.

### **3.5. Holismo de la contrastación**

Para concluir, si en el caso de investigación que estamos desarrollando observáramos que en el frasco 1 no aparecen gusanos, resultando falsa entonces la consecuencia observacional considerada, no se refuta una consecuencia observacional particular aislada, sino la conjunción de la hipótesis a contrastar y las hipótesis subsidiarias. Esto habilita la posibilidad de salvar la hipótesis con hipótesis ad hoc. En un caso positivo, por otra parte, no favorece a una hipótesis aislada tampoco, sino al mismo conjunto de hipótesis. Se ha llamado a esto “holismo de la contrastación”.

**Holismo de la contrastación:** nunca pueden contrastarse enunciados de manera aislada. Dado que las consecuencias observacionales siempre se deducen de un complejo de hipótesis, la refutación, así como la confirmación o corroboración, siempre apuntan a este complejo de hipótesis y no a uno de sus componentes en particular. En caso de refutación, lo que se refuta es el conjunto de hipótesis que se utilizaron en la contrastación, pero no podemos saber cuál o cuáles de ellas han sido las responsables.

### ACTIVIDAD 6

Para los científicos que pueden ser reacios a abandonar las hipótesis que proponen como solución a un problema, existen formas de salvar a la hipótesis contrastada:

**Hipótesis *ad hoc*:** son hipótesis cuyo único objetivo es salvar de la refutación a una hipótesis que ha tenido un resultado negativo en la contrastación. La hipótesis *ad hoc* culpa del resultado negativo a alguna de las hipótesis subsidiarias.

Dada la siguiente hipótesis, “Las plantas no requieren de sol para sobrevivir”:

- a. Propongan una manera de contrastar tal hipótesis. Expliciten todas las hipótesis subsidiarias involucradas en la contrastación.
- b. ¿Qué hipótesis *ad hoc* podría salvar esta hipótesis en el caso de que el resultado fuera negativo?

### ACTIVIDAD 7

En el siguiente caso de investigación sobre el comportamiento de los gorriones:<sup>3</sup>

- a. Enuncien el fenómeno a explicar.
- b. Identifiquen la hipótesis contrastada, al menos una hipótesis auxiliar, las condiciones iniciales y la consecuencia observacional.
- c. Reconstruyan el razonamiento mediante el cual se refuta la hipótesis.
- d. Formalícenlo.
- e. Propongan al menos una hipótesis *ad hoc* para seguir sosteniendo la hipótesis principal.

---

<sup>3</sup> Basado en Cheney y Seyfarth (2007).

Los gorriónes melódicos y los pantaneros son dos especies norteamericanas que están muy próximamente relacionadas pero que, a pesar de ello, cantan melodías muy diferentes. La pregunta que surge es cómo es que estas especies llegan a cantar de la manera en que lo hacen. Bajo la idea de que la conducta animal se produce cuando el organismo aplica ciertas restricciones mentales mínimas sobre un estímulo ambiental adecuado, muchos etólogos han sostenido que los gorriónes melódicos y pantanosos aprenden a cantar mediante la experiencia, es decir, gracias al contacto con otros gorriónes adultos cuyas canciones constituyen los estímulos ambientales adecuados para desarrollar el canto de cada especie. Contra esta idea Marler y Peters diseñaron el siguiente experimento. Tomaron un grupo de pichones de gorriónes melódicos y pantaneros y en condiciones de aislamiento en un laboratorio les hicieron escuchar grabaciones que registraban el canto de los gorriónes de ambas especies. Si la experiencia es la que rige la adquisición del canto de los gorriónes, entonces, en el caso de estos pichones melódicos y pantaneros criados en las condiciones de cautiverio presentadas, deberían desarrollar, ambas especies, los mismos cánticos dado que están expuestos a las mismas condiciones de experiencia. Además cabe mencionar que ambas especies tienen las mismas habilidades cantoras en el sentido de que ambas especies pueden producir las mismas notas. Sin embargo, pese a que este grupo de pichones de ambas especies está expuesto a los mismos estímulos ambientales y puede producir los mismos cantos, los pichones melódicos del grupo adquieren el canto de los gorriónes melódicos y los pichones pantaneros del grupo adquieren el canto de los gorriónes pantaneros. Este experimento parece mostrar que no es cierto que el canto de los gorriónes melódicos y pantaneros se desarrolle por la sola experiencia.



Figura 3. Gorrión melódico (izquierda) y gorrión pantanero (derecha)<sup>4</sup>.

## 4. El papel de la inducción en la ciencia

Existía en siglos precedentes, la presunción de que el método característico de la ciencia era el inductivo. De allí que las ciencias que hoy

<sup>4</sup> Extraído de: [http://es.wikipedia.org/wiki/Melospiza\\_melodia](http://es.wikipedia.org/wiki/Melospiza_melodia) y [http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Swamp\\_Sparrow.jpg](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Swamp_Sparrow.jpg)

se caracterizan como fácticas eran denominadas en el siglo XIX, habitualmente, como “ciencias inductivas”. Es necesario aclarar, sin embargo, que la inducción (razonamiento no deductivo que permite inferir por medio de la generalización de enunciados singulares, enunciados generales) no puede funcionar como método de descubrimiento de las hipótesis científicas más interesantes. Pues, la mera generalización no permite introducir nuevos conceptos, mientras que las leyes científicas usualmente lo hacen (en la mecánica clásica, por ejemplo, se introduce el concepto de fuerza, o en la genética clásica, el de gen). Veamos, sobre este tema, el siguiente texto de Karl Hempel<sup>5</sup>:

La inducción se concibe a veces como un método que, por medio de reglas aplicables mecánicamente, nos conduce desde los hechos observados a los correspondientes principios generales. En este caso, las reglas de la inferencia inductiva proporcionarían cánones efectivos del descubrimiento científico; la inducción sería un procedimiento mecánico análogo al familiar procedimiento para la multiplicación de enteros, que lleva, en un número finito de pasos predeterminados y realizables mecánicamente, al producto correspondiente. De hecho, sin embargo, en este momento no disponemos de ese procedimiento general y mecánico de inducción; en caso contrario, difícilmente estaría hoy sin resolver el muy estudiado problema del origen del cáncer. Tampoco podemos esperar que ese procedimiento se descubra algún día. Porque -para dar sólo una de las razones- las hipótesis y teorías científicas están usualmente formuladas en términos que no aparecen en absoluto en la descripción de los datos empíricos en que ellas se apoyan y a cuya explicación sirven. Por ejemplo, las teorías acerca de la estructura atómica y subatómica de la materia contienen términos tales como «átomo», «electrón», «protón», «neutrón», «función psi», etc.; sin embargo, esas teorías están basadas en datos de laboratorio acerca de los espectros de diversos gases, trayectorias de partículas en las cámaras de niebla y de burbujas, aspectos cuantitativos de ciertas reacciones químicas, etc., todos los cuales se pueden describir sin necesidad de emplear estos «términos teóricos». Las reglas de inducción, tal como se conciben en el texto citado, tendrían, por tanto, que proporcionar un procedimiento mecánico para construir, sobre la base de los datos con que se cuenta, una hipótesis o

---

<sup>5</sup> Extraído de: [http://es.wikipedia.org/wiki/Melospiza\\_melodia](http://es.wikipedia.org/wiki/Melospiza_melodia) y [http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Swamp\\_Sparrow.jpg](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Swamp_Sparrow.jpg) (Último acceso, 6 de junio de 2015).

teoría expresada en términos de algunos conceptos completamente nuevos, que hasta ahora nunca se habían utilizado en la descripción de los datos mismos. Podemos estar seguros de que ninguna regla mecánica conseguirá esto. ¿Cómo podría haber, por ejemplo, una regla general que, aplicada a los datos de que disponía Galileo relativos a los límites de efectividad de las bombas de succión, produjera, mecánicamente, una hipótesis basada en el concepto de un mar de aire? [...] No hay, por tanto, «reglas de inducción» generalmente aplicables por medio de las cuales se puedan derivar o inferir mecánicamente hipótesis o teorías a partir de los datos empíricos. La transición de los datos a la teoría requiere imaginación creativa. Las hipótesis y teorías científicas no se derivan de los hechos observados, sino que se inventan para dar cuenta de ellos. Son conjeturas relativas a las conexiones que se pueden establecer entre los fenómenos que se están estudiando, a las uniformidades y regularidades que subyacen a éstos. Las «conjeturas felices» de este tipo requieren gran inventiva, especialmente si suponen una desviación radical de los modos corrientes del pensamiento científico, como era el caso de la teoría de la relatividad o de la teoría cuántica. El esfuerzo inventivo requerido por la investigación científica saldrá beneficiado si se está completamente familiarizado con los conocimientos propios de ese campo. Un principiante difícilmente hará un descubrimiento científico de importancia, porque las ideas que puedan ocurrírsele probablemente no harán más que repetir las que ya antes habían sido puestas a prueba o, en otro caso, entrarán en colisión con hechos o teorías comprobados de los que aquél no tiene conocimiento. (Hempel, 1998, pp. 31-32)

Los filósofos que propusieron todas las categorías de análisis que hemos desarrollado en este capítulo consideraban que no existía ningún tipo de inferencia que permitiera descubrir hipótesis. Por tal motivo, en este marco se hizo la distinción entre “contexto de descubrimiento” y “contexto de justificación”. La idea básica sobre la que se construye tal distinción consiste en señalar que existen dos problemáticas completamente distintas con respecto a una hipótesis científica particular. Una, cómo el científico la descubrió, otra cómo justificó tal hipótesis. Cuestiones acerca de cómo se llega a pensar una hipótesis científica tienen que ver con lo que comúnmente se conoce como “contexto de descubrimiento” de la hipótesis. Cuestiones acerca de la justificación de las hipótesis son conocidas como cuestiones acerca del “contexto de justificación” de

las hipótesis. En el período clásico, no solo se suele sostener la idea de que tales contextos son diferenciables, sino además, que la filosofía no se ocupa del contexto de descubrimiento y sí del de justificación.

Podemos dar un ejemplo, probablemente falso: que a Isaac Newton se le ocurriera la ley de la gravitación universal al caérsele una manzana en la cabeza durante una siesta bajo un árbol, pertenecería al contexto de descubrimiento. Corresponderían al contexto de justificación los procedimientos por los cuales Newton validó esta ley. La primera cuestión puede ser abordada, bajo estos supuestos, por alguno de los otros estudios metacientíficos disponibles (psicología, historiografía, etc.); la filosofía solo podría ocuparse de lo relativo al modo en que se justifican las hipótesis.

Detrás de esta idea, está el rechazo a que existan lógicas del descubrimiento, y el presupuesto de que la filosofía de la ciencia solo se ocupa de encontrar la lógica de la investigación científica. Leamos, como ejemplo, el siguiente párrafo de Karl Popper:

### **Eliminación del psicologismo**

He dicho más arriba que el trabajo del científico consiste en proponer teorías y en contrastarlas. La etapa inicial, el acto de concebir o inventar una teoría, no me parece que exija un análisis lógico ni sea susceptible de él. La cuestión acerca de cómo se le ocurre una idea nueva a una persona —ya sea un tema musical, un conflicto dramático o una teoría científica— puede ser de gran interés para la psicología empírica, pero carece de importancia para el análisis lógico del conocimiento científico. Este no se interesa por cuestiones de hecho (el *quid facti?* de Kant), sino únicamente por cuestiones de justificación o validez (el *quid juris?* kantiano); sus preguntas son del tipo siguiente: ¿puede justificarse un enunciado?; en caso afirmativo, ¿de qué modo?; ¿es contrastable?; ¿depende lógicamente de otros enunciados?; ¿o los contradice quizá? Para que un enunciado pueda ser examinado lógicamente de esta forma tiene que habérsenos propuesto antes: alguien debe haberlo formulado y habérsenos entregado para su examen lógico. En consecuencia, distinguiré netamente entre el proceso de concebir una idea nueva y los métodos y resultados de su examen lógico. En cuanto a la tarea de la lógica del conocimiento

—que he contrapuesto a la psicología del mismo—, me basaré en el supuesto de que consiste pura y exclusivamente en la investigación de los métodos empleados en las contrastaciones sistemáticas a que debe someterse toda idea nueva antes de que se la pueda sostener seriamente. (Popper, 1971, pp. 30-31)

La idea de que es posible comprender el funcionamiento de la ciencia prestando solo atención al contexto de justificación, será puesta en duda, por ejemplo, por autores como Kuhn. Pero sin entrar en estas críticas de Kuhn (que desarrollaremos en el capítulo IV) queda claro que, asumiendo la distinción entre contextos, la inducción no serviría para descubrir hipótesis, pero podría tener todavía un papel al justificar hipótesis descubiertas por otras vías. Esto ha generado una polémica importante respecto al funcionamiento de la inducción en el contexto de justificación.

Anteriormente, vimos que si consideráramos verificada a una hipótesis cuando una de sus consecuencias observacionales resulta verdadera, cometeríamos una falacia de afirmación del consecuente. Como mencionamos, esto implica que las hipótesis no son verificables a través de la experiencia. Pero, ¿podemos saber algo sobre la verdad de una hipótesis muy exitosa al realizar predicciones? Aquí se produjo una polémica dentro de la Filosofía de la ciencia.

Para algunos, entre los cuales se encuentran Carnap y Hempel, la verificación de consecuencias observacionales, si bien no verificaba una hipótesis, la volvía más probable por medio de un razonamiento inductivo. Es decir, cuantas más consecuencias observacionales resultaran verdaderas, más probable sería la hipótesis. Se suele decir que una consecuencia observacional “confirma” una hipótesis, para expresar la idea de que la verificación de una consecuencia observacional incrementa la probabilidad de la hipótesis, y a los autores que consideraban que esto era posible se los suele llamar hoy “confirmacionistas”. Según estos,

si bien es cierto que las hipótesis actuales no están verificadas (no está probada su verdad a partir de la experiencia), están fuertemente confirmadas (son muy probables dado su éxito empírico).

Existen otros autores, de los cuales el más famoso es Popper, que consideraban que la inducción no juega ningún papel en ninguna etapa de la investigación científica. Popper se oponía a la idea de que existieran lógicas no deductivas. Por lo tanto, que las consecuencias observacionales se cumplan, no implicarían ningún incremento en la probabilidad de la hipótesis. Cuando una consecuencia observacional de una hipótesis dada se cumple, lo único que podemos afirmar, según Popper, es que en esta oportunidad la hipótesis no se ha refutado, es decir, que ha sido “corroborada”. A los autores que consideran que las hipótesis ni se verifican ni se confirman se los conoce como “falsacionistas”. De acuerdo con ellos, lo único que podemos saber de una hipótesis es que no ha sido refutada todavía. Distinguimos entonces entre:

- Verificar: Mostrar que una hipótesis es verdadera.
- Confirmar: Mostrar que una hipótesis es más probable a través de sus predicciones exitosas.
- Corroborar: Mostrar que una hipótesis no ha sido refutada en una contrastación particular.

## ACTIVIDAD 8

Cuando contrastamos una hipótesis intuitivamente creemos que solamente pueden pasar dos cosas: o la aceptamos o la rechazamos. Pero hemos hecho un análisis filosófico según el cual podría decirse que la hipótesis fue refutada, verificada, confirmada o corroborada. Este es un escenario más complejo que el de la mera aceptación o rechazo.

a. Completen los siguientes enunciados:

Refutar: mostrar que una hipótesis...
Verificar: mostrar que una hipótesis...



Confirmar: mostrar que una hipótesis...
Corroborar: mostrar que una hipótesis...

b. ¿Las hipótesis que son aceptadas en el seno de la ciencia son hipótesis verificadas? Justifiquen su respuesta.

En los ejercicios que quedan vamos a integrar todas las nociones que hemos aprendido hasta aquí: hipótesis, hipótesis auxiliares, condiciones iniciales, consecuencias observacionales, hipótesis *ad hoc*, cláusulas *ceteris paribus*... ¿qué otras nociones recuerdan?

## ACTIVIDAD 9

Lean el siguiente caso de investigación<sup>6</sup> y, luego, trabajen con las consignas que están a continuación:

### Los conceptos sociales y el cerebro

Amistad, justicia, honor, lealtad, son algunos ejemplos de conceptos sociales los cuales incorporan información que adquirimos en nuestro contacto con la sociedad ¿Qué parte de nuestro cerebro activamos cuando usamos este tipo de conceptos? En 1922 Von Kleist formuló la hipótesis de que los conceptos sociales están representados en los lóbulos anteriores temporales superiores a partir de la evidencia que aportaban los pacientes con lesiones cerebrales en la Primera Guerra Mundial. La evidencia sugería que los pacientes que tenían dañada la región de los lóbulos temporales anteriores eran incapaces de definir, describir y ejemplificar diferentes conceptos sociales. Muchos años después, Zahn y sus colegas retomaron la hipótesis de Kleist y la pusieron a prueba de la siguiente manera. Tomaron un grupo de 26 personas y, por un lado, les pidieron que hicieran juicios sobre las relaciones de significado que hay entre pares de conceptos sociales (e.g. honor-valentía, etc.), mientras que por otro lado, les pidieron que emitieran juicios sobre las relaciones de significado que hay entre pares de conceptos no sociales (e.g. nutrición- útil, etc.). En el primer caso, la tarea exige que el sujeto use conceptos sociales, en el segundo caso, en cambio, la tarea no exige que el sujeto use conceptos sociales. Los investigadores registraron la actividad cerebral de los sujetos mientras que se desempeñaban en dichas tareas a través de imágenes por resonancia magnética funcional (MRIf). La MRIf es un procedimiento clínico y de investigación que permite mostrar en imágenes las regiones cerebrales que se activan cuando un sujeto se desempeña en una determinada tarea. Si la hipótesis de Zahn es correcta, entonces las MRIf deberían revelar primero, la activa-

<sup>6</sup> Basado en Zahn et al (2007).

ción de los lóbulos temporales anteriores cuando los sujetos emiten juicios de relación de significado de pares de conceptos sociales y segundo, la no activación de los lóbulos temporales anteriores cuando los sujetos emiten juicios de relación de significado en el caso de pares de conceptos no sociales. Debido a que las MRIf arrojaron este resultado puede decirse que la hipótesis de los investigadores era correcta.

- a. Enuncien el fenómeno a explicar.
- b. Identifiquen la hipótesis contrastada, al menos una hipótesis auxiliar, las condiciones iniciales y la consecuencia observacional.
- c. Reconstruyan formalmente con los elementos identificados en la contrastación, la falacia de afirmación del consecuente que se cometería si se pensara que el resultado positivo de la contrastación verifica la hipótesis.

## ACTIVIDAD 10

Lean el siguiente caso y, luego, respondan las preguntas que están a continuación<sup>7</sup>:

### **La orientación de los murciélagos**

Los primeros estudios sobre la capacidad de orientación de los murciélagos datan de fines del siglo XVIII, cuando el naturalista italiano Lázaro Spallanzani (1729-1799) y el médico y zoólogo suizo Louis Jurine (1751-1819) realizaron una serie de experimentos con estos animales. En 1793, Spallanzani encerró a una lechuza y a un murciélago en una habitación, en la que había dispuesto una serie de hilos cruzados de lado a lado, de los que colgaban campanillas, de forma que sonaran si los animales chocaban con ellos. En la penumbra ambos animales eran capaces de volar, pero cuando se hizo la oscuridad total en la habitación, Spallanzani comprobó que la lechuza se desorientaba y chocaba con los hilos y contra las paredes, mientras que el murciélago mantenía intacta su capacidad de volar. La conclusión lógica fue que la lechuza simplemente tenía una visión más sensible que la del hombre, pero que el murciélago debía de tener alguna capacidad adicional que no dependía de la iluminación. A fin de excluir completamente la visión, Spallanzani realizó un segundo experimento: quemó los ojos de los murciélagos para cegarlos completamente, y los liberó en la habitación. No solo comprobó que estos murciélagos ciegos volaban con igual facilidad, sino que, capturándolos unos días más tarde y examinando el contenido de sus estómagos, habían sido capaces de cazar insectos al

---

<sup>7</sup> Adaptado de Seco Granja y Jiménez Ruiz (2006).

igual que sus congéneres con vista.

Spallanzani comunicó sus resultados a Jurine, quien ideó una tercera prueba: tapó los oídos de los murciélagos con bolas de cera y los liberó en una habitación que, al igual que en los primeros experimentos, contenía hilos con campanillas. Observó que la capacidad de los murciélagos de evitar obstáculos se deterioraba notablemente. Spallanzani fue capaz de replicar los hallazgos de Jurine, insertando pequeños tubos metálicos en las orejas de los murciélagos. Ambos concluyeron que el sentido del oído, y no la vista, era fundamental para que los murciélagos volaran y cazasen.

- a. ¿Cuál es el fenómeno que querían explicar Spallanzani y Jurine?
- b. Identifiquen la hipótesis que Spallanzani puso a prueba en el segundo experimento. Identifiquen también las condiciones iniciales y la consecuencia observacional.
- c. Reconstruyan el tercer experimento (el de Jurine). Identifiquen la hipótesis, las condiciones iniciales, la consecuencia observacional y, por lo menos, una hipótesis auxiliar.
- d. ¿Verifica el hecho de que la consecuencia observacional resulte verdadera, la hipótesis en cuestión?
- e. Si repitiéramos el experimento de Jurine y la consecuencia observacional resultara falsa, ¿necesariamente deberíamos abandonar la hipótesis? ¿Por qué?

## ACTIVIDAD 11

Lean el siguiente caso y, luego, respondan las preguntas que están a continuación:<sup>8</sup>

### Spallanzani y sus “animáculos”

Los primeros trabajos de Spallanzani (1765-1776) se refieren al origen de los animáculos en las infusiones. Hacía ya cerca de cien años que habían sido descubiertos por Leeuwenhoek y aún no se había llegado a ningún acuerdo sobre su origen. Había dos posturas predominantes: la de los partidarios de los gérmenes, quienes sostenían que los animáculos se originaban a partir de gérmenes presentes sobre la materia en descomposición o en el aire; y la de partidarios de la generación espontánea, quienes sostenían que los animáculos se generaban espontáneamente a partir de la materia inerte.

Los partidarios de la generación espontánea atribuían el origen de los animáculos a la descomposición de la materia infusa que libera moléculas orgánicas. Un sacerdote irlandés llamado Tuberville Needham alegaba en favor de esta opinión un experimento preciso y pretendidamente

<sup>8</sup> Adaptado de Rostand (1966).

crucial (1745). Habiendo colocado jugo de cordero en un frasco cuidadosamente tapado, lo mantuvo durante media hora en brasa caliente con objeto de destruir a los gérmenes que —en la hipótesis antiespontaneísta— podrían encontrarse en la superficie, en el aire interior del frasco, o en el propio líquido. A pesar de esta precaución, el jugo de cordero se había poblado de animálculos en poco tiempo, los que, según Needham, sólo podía provenir de una génesis espontánea. El experimento causó mucha sensación. ¿No era ésta la solución al tan debatido problema? Era la reedición de la famosa experiencia de Redi, pero en el terreno de la vida microscópica: el calentamiento del frasco había reemplazado al papel con el que Redi sellaba los frascos. Esta vez sin embargo, para satisfacción de los espontaneístas, la exclusión voluntaria de los gérmenes no había impedido que la vida se manifestara.

Toda la cuestión se reducía a saber si el ingenioso experimento de Needham era correcto. Para asegurarse de ello Spallanzani se propuso reproducirlo aplicando con más rigor los procedimientos de exclusión de los gérmenes, es decir, utilizando frascos mejor tapados y un calentamiento más prolongado. En estas nuevas condiciones, el resultado fue completamente diferente, los animálculos no aparecieron en absoluto.

Una prolongada discusión se estableció entonces entre ambos experimentadores. Needham sostenía que, modificado de este modo, el experimento perdía su significado, puesto que el calentamiento excesivo practicado por Spallanzani tenía, por un lado, el efecto de destruir la «fuerza genésica» o «vegetativa» de las infusiones y, por el otro, el de producir en el aire interior de los frascos una alteración que imposibilitaba la vida de los animálculos. Needham se encontraba en un completo error por lo que se refería a la génesis espontánea, pero sus objeciones no eran desde luego absurdas y, en el estado en que se hallaba entonces la ciencia, era casi imposible realizar un experimento susceptible de zanjar la cuestión disipando todo equívoco.

- a. Enuncien el problema a resolver (es decir, el dato observacional que quiere ser explicado) y las dos hipótesis en competencia para su explicación.
- b. Reconstruyan el experimento de Needham como refutatorio de la hipótesis de que los animálculos provienen de gérmenes dejados por otros animálculos. Señalen la hipótesis que pone a prueba Needham, las hipótesis auxiliares, las condiciones iniciales y la consecuencia observacional.
- c. Enuncien las hipótesis ad hoc con las que Spallanzani salva a la hipótesis que parecía refutada por Needham.

- d. Reconstruyan el experimento de Spallanzani como refutatorio de la hipótesis de que los animáculos se generan espontáneamente. Identifiquen hipótesis, hipótesis auxiliares, condiciones iniciales y consecuencia observacional.
- e. Enuncien la hipótesis *ad hoc* con la que Needham salva a la hipótesis espontaneísta de la refutación. ¿A qué hipótesis presupuesta en la contrastación, culpa Needham del resultado negativo?

## ACTIVIDAD 12

En los siguientes casos de investigación:

- a. Identifiquen el fenómeno a explicar.
- b. Identifiquen la hipótesis contrastada, al menos una hipótesis auxiliar, las condiciones iniciales y la consecuencia observacional.
- c. Respondan: ¿qué ocurre con la consecuencia observacional? y ¿cuál es el resultado de la contrastación?
- d. En el caso de que se trate de una refutación, propongan al menos una hipótesis *ad hoc* para salvar la hipótesis principal.

### El descubrimiento de la penicilina<sup>9</sup>

La penicilina es un género de antibióticos empleado profusamente en el tratamiento de infecciones provocadas por bacterias. Su descubrimiento fue uno de los grandes acontecimientos científicos del siglo XX que cambió de manera definitiva a la medicina. Fue Fleming quien por casualidad reveló al mundo los poderes de la penicilina en el año 1928. Por aquella época, el investigador estudiaba cultivos bacterianos de *Staphylococcus aureus* en el laboratorio del Hospital de St. Mary de Londres. Luego de ausentarse por un mes del laboratorio, al regresar observó que muchos de sus cultivos bacterianos estaban contaminados con hongos, razón por la cual tiró la mayoría de ellos. Sin embargo, no los tiró todos y al observar con mayor detenimiento a los cultivos contaminados que aún le restaban se percató que alrededor del hongo contaminante se había creado un halo de transparencia, lo que indicaba la destrucción de las bacterias del cultivo. El hongo presente en estos cultivos era el *Penicillium notatum* y la observación inmediata parecía indicar que la sustancia procedente de este hongo, denominada penicilina por Fleming, eliminaba al *Staphylococcus aureus*. Este suceso hizo pensar a Fleming en la idea más general de que la penicilina produce el retroceso de las infecciones bacterianas. Fueron Florey y Chain quienes, pocos años más tarde, pusieron a prueba esta idea. A diferencia de Fleming, estos investigadores lograron extraer, filtrar y purificar del hongo *Penicillium notatum* grandes cantidades de la penici-

<sup>9</sup> Basado en <http://en.wikipedia.org/wiki/Penicillin>. (Último acceso 6 de junio 2015).

lina mediante un sistema a contracorriente y extracción por amil acetato. Habiendo librado a la penicilina estudiada de todo resto de impureza la inyectaron en un grupo de ratones que estaban infectados con *Streptococcus*. Observaron que la infección bacteriana de los ratones disminuía, lo cual indicaba que la hipótesis propuesta por Flemming era acertada. Gracias a estos hallazgos en el año 1945, Fleming, Florey y Chain recibieron el premio Nobel de medicina.



Figura 4. Sello de las Islas Feroe en honor de Alexander Fleming<sup>10</sup>

### Las relaciones sociales de los monos babuinos<sup>11</sup>

Entre los monos babuinos las relaciones sociales están fuertemente basadas en las jerarquías que ocupan los integrantes de un grupo. La jerarquía que tiene un individuo en un grupo de babuinos se mantiene por años y está en la base de las alianzas, amistades, enfrentamientos, etc. ¿Sería una forma de antropomorfismo creer que los babuinos tienen un conocimiento social sofisticado mediante el cual reconocen cuál es el lugar social que ocupan sus compañeros? Silk ha mostrado mediante un interesante experimento que esta no es una afirmación antropomorfista y que, efectivamente, los babuinos reconocen el rango jerárquico que ocupan los otros individuos de su grupo. El babuino A no sólo reconoce que es subordinado respecto de B y dominante respecto de C, por ejemplo, sino que también reconocería, por ejemplo, que B es dominante respecto de D, y C es subordinado respecto de E.

Para entender el experimento de Silk habría que presentar algunas cuestiones previas. El experimento toma en consideración ciertos tipos de vocalizaciones que emiten las hembras. La mayoría de las vocalizaciones de los babuinos son distintivas en el sentido de que no solamente permiten a sus compañeros extraer información de lo que está ocurriendo, sino que también les permiten identificar qué status jerárquico tiene quien emite la vocalización. El experimento apela a dos tipos particulares de vocali-

<sup>10</sup> Extraído de: [http://en.wikipedia.org/wiki/Alexander\\_Fleming](http://en.wikipedia.org/wiki/Alexander_Fleming). (Último acceso 6 de junio 2015).

<sup>11</sup> Basado en Cheney y Seyfarth (2007) (Último acceso 6 de junio 2015).

zación: los gruñidos y los gritos de miedo. Cuando una hembra de menor jerarquía se acerca a una hembra de mayor jerarquía la última suele emitir un gruñido que indica su carácter dominante. El gruñido es un tipo de vocalización que indica a los demás monos de manera precisa que quien lo emite es un miembro de mayor jerarquía en el grupo. Frente al gruñido de la hembra de mayor jerarquía la hembra de jerarquía inferior suele proferir gritos de miedo que manifiestan su sumisión. El grito de miedo, por su parte, es un tipo de vocalización que indica a los babuinos de manera no ambigua que quien lo emite es una hembra de menor jerarquía. El experimento de Silk fue diseñado tomando en cuenta lo que los psicólogos llaman —la violación de las expectativas—. La lógica de los experimentos de violación de la expectativa es la siguiente. Si se quiere saber si un organismo sabe *p*, se le presenta evidencia de que *p* es verdadero y en este caso el organismo no demuestra sorpresa alguna. Luego, en un test que sea lo más similar posible al anterior, se le presenta evidencia de que *p* es falso, y en tal caso el organismo debería responder con sorpresa porque la evidencia presentada varía respecto de lo que él considera verdadero.

Bajo esta perspectiva Silk realizó la siguiente experiencia. A 18 hembras se les hizo escuchar a través de parlantes grabaciones con dos tipos de secuencias de vocalizaciones. En el primer tipo de secuencia de vocalizaciones se escucha primero que la hembra A, de menor jerarquía, gruñe, segundo, que la hembra B, de mayor jerarquía grita de miedo, y tercero, que la hembra C, de una jerarquía superior a la de la hembra B, gruñe. Esta secuencia de sonidos es normal en tanto que es consistente con las relaciones de dominancia de estas hembras. Es una situación concebible que la hembra B grite de miedo demostrando su sumisión respecto de la hembra C. En el segundo tipo de secuencia de sonidos sólo se escucha el gruñido de la hembra A, y el grito de miedo de la hembra B. Esta secuencia de sonidos es anormal dado que plantea un escenario poco frecuente en el cual una hembra de menor jerarquía profiere sonidos amenazantes para con una hembra de mayor jerarquía y la última responde con un grito de subordinación. Lo que debería esperarse cuando las hembras estudiadas escuchan estas secuencias de sonidos es que, en el primer caso, no presenten sorpresa alguna, y que, en cambio, en el segundo caso evidencien sorpresa frente a una secuencia anormal de sonidos. Efectivamente, las hembras babuino presentaron estos patrones de conducta. Cuando se les presentaron las secuencias de sonidos normales apenas prestaron atención a los parlantes, pero cuando se les presentaron las secuencias de sonidos anormales permanecían más tiempo mirando los parlantes, lo cual significa que estaban sorprendidas. Esto indicaría que las hembras testeadas

reconocen cuál es la jerarquía que ocupan otros integrantes del grupo. Por eso cuando escuchan vocalizaciones que no parecen corresponderse son el status social de quien la emite se muestran sorprendidas.

### **Sobre la existencia del éter<sup>12</sup>**

Una de las principales afirmaciones del enfoque heliocéntrico era que la Tierra se movía y que lo hacía a través de un elemento sutil y ligero que era el éter. Aunque ésta era una hipótesis fuertemente sostenida por el heliocentrismo hubo que esperar hasta fines del siglo XIX para ponerla a prueba. Michelson y Morley imaginaron un experimento que tomaba en cuenta ciertas cuestiones respecto de los pulsos de luz. Lo cierto es que a fin del siglo XIX las teorías físicas de la luz habían cambiado profundamente gracias a los aportes de Maxwell. Maxwell sugirió que la luz era una onda electromagnética, es decir, una serie de campos eléctricos y magnéticos que vibraban y se perseguían. En aquella época parecía difícilmente concebible que una onda (electromagnética o de cualquier tipo) se propagase en el vacío sin ningún medio material que hiciera de soporte. Por ejemplo, para que una onda sonora se propague se necesita de un medio físico que puede ser el aire o el agua. Maxwell razonó que lo mismo sucedería con la luz, de manera que postuló que la luz es una onda electromagnética que podría estar propagándose a través del éter. Pero el éter no sólo sería el medio a través del cual se propaga la luz sino que también sería el elemento que atraviesa la Tierra cuando se traslada.

Tomando en cuenta todo lo anterior, Michelson y Morley pensaron de la siguiente manera. En aquel entonces era ampliamente aceptada la idea de que a medida que avanzaba la Tierra se generaba un —viento de éter que choca contra ella de la misma manera que el aire choca contra un auto que avanza a toda velocidad por una ruta. Si la Tierra se mueve a través del éter generando un viento de éter y se proyecta la onda de luz A en contra de la dirección del viento de éter así como también se proyecta la onda de luz B en la misma dirección del viento de éter, entonces, el viento de éter retrasará la propagación de la onda de luz A mientras que no habrá ningún retraso en la propagación en la onda de luz B. Para entender por qué en el primer caso habría retraso y en el segundo caso no, imagínese una persona caminando en contra de un fuerte viento y a otra caminando a favor de dicho viento. Es evidente que mientras que la primera persona tendrá dificultades para avanzar, la segunda podrá hacerlo sin dificultades. Por razones parecidas, la onda de luz A, que va en contra del viento de éter generado por la Tierra cuando se mueve, tendrá dificultades en su

---

<sup>12</sup> Basado en Moledo y Magnani (2009).



propagación cosa que no sucede con la onda de luz B que avanza junto con el viento de éter. El interferómetro era el instrumento que los investigadores utilizaron para medir el supuesto retraso de la luz que se propaga en contra del viento de éter. Su funcionamiento se basa en la división de un único rayo de luz en dos haces para que recorran caminos diferentes y luego converjan nuevamente en un punto. El recorrido de uno de los rayos era a favor del viento de éter y el del otro era en contra del viento de éter. Ambos rayos se reflejaban en espejos con el objetivo de que vuelvan a un mismo punto. Lo esperado era que el rayo cuyo recorrido estaba a favor del viento de éter llegaría antes que el otro.

Sin embargo, Michelson y Morley no observaron retraso alguno, a pesar de las repetidas veces que realizaron la experiencia. Ambos rayos de luz llegaban al mismo tiempo lo cual parecía indicar que no es cierto que la Tierra se mueva a través del éter. Dicho más explícitamente, si no hay retraso, no hay viento de éter que lo produzca, si no hay viento de éter, no existe el éter y si no hay éter no puede decirse que la Tierra se mueve a través de este elemento. El experimento de Michelson y Morley es el experimento fallido más famoso de la física, porque, a pesar de las intenciones originales de los investigadores, parecía indicar cosas totalmente innovadoras. Por un lado, parecía indicar que el éter no existe, pues si lo hiciera habría un viento de éter y el viento de éter quedó descartado dados los resultados que arroja el interferómetro. Por otro lado, el experimento parecía abrir la posibilidad de que la luz se propague siempre a la misma velocidad en el vacío, una idea fundamental en la teoría de la relatividad de Einstein.



Figura 5. Interferómetro de Michelson<sup>13</sup>.

<sup>13</sup> Extraído de: [http://museovirtual.csic.es/coleccion/daza\\_valdes/fichas/daza9.htm](http://museovirtual.csic.es/coleccion/daza_valdes/fichas/daza9.htm). (Último acceso 6 de junio de 2015).

## Síntesis del capítulo

Hemos llegado al final del presente capítulo y es hora de hacer una rápida retrospectiva de lo que hemos aprendido. Vimos que las hipótesis científicas son enunciados que ofrece un científico para explicar un fenómeno del cual no sabemos su valor de verdad. Por eso suele decirse que las hipótesis son enunciados conjeturales. Todo el objetivo del científico es determinar cuál es el valor de verdad de dicho enunciado y es por eso que somete a su hipótesis a un proceso arduo de puesta a prueba.

Para analizar filosóficamente la instancia de puesta a prueba de una hipótesis, además de las herramientas de la lógica que hemos presentado en el capítulo II, necesitamos de manera preliminar introducir una serie de distinciones entre tipos de conceptos que constituyen un enunciado, y tipos de enunciados científicos (enunciados básicos, generalizaciones empíricas y enunciados teóricos). Estas distinciones nos permitirán analizar la forma en que se contrastan las hipótesis; aunque solamente analicemos la contrastación de hipótesis no probabilísticas.

Notamos que para contrastar una hipótesis el científico tenía que deducir de la misma una o más consecuencias observacionales, donde entendimos por consecuencia observacional un enunciado singular y observacional que se sigue de la hipótesis y que expresa los hechos que deberían esperarse que sucedan a partir de la admisión de una hipótesis. Pero la hipótesis no está sola en la deducción de las consecuencias observacionales. A ella la acompañan una serie de enunciados que hemos denominado “hipótesis subsidiarias”: las condiciones iniciales, las hipótesis auxiliares, las cláusulas *ceteris paribus*. Las condiciones iniciales son enunciados singulares en los que se expresa el estado de cosas en el mundo que debe darse para que, asumiendo la hipótesis puesta a prueba, tenga lugar la consecuencia observacional. Por el contrario, las hipótesis auxiliares son enunciados generales cuya verdad no depende de la con-

trastación en la que participan, pues se suponen verdaderos a los fines de la contrastación que se está llevando a cabo. Las hipótesis *ceteris paribus* son enunciados en los que se afirma que no existen factores relevantes que no estén siendo tomados en cuenta.

Al tener presentes todos estos elementos, vimos que la situación en que una hipótesis resulta ser refutada puede reconstruirse lógicamente como un *Modus tollens*. En este caso, es correcto afirmar que la hipótesis fue refutada debido a que la consecuencia observacional fue refutada. Sin embargo, el caso inverso presenta problemas desde el punto de vista de la lógica, razón por la cual la contrastación es asimétrica. En el caso en que la hipótesis resulte exitosa, es incorrecto afirmar que debido a la verificación de la consecuencia observacional también la hipótesis queda verificada, puesto que se cometería una falacia de afirmación del consecuente.

También, vimos que los científicos disponen de estrategias *ad hoc* para salvar a una hipótesis de la refutación. Disponen más específicamente de las hipótesis *ad hoc* que son hipótesis cuyo único objetivo es salvar de la refutación a una hipótesis que ha tenido resultados negativos en la contrastación, culpando a alguna de las hipótesis subsidiarias. Este tipo de estrategias ponen en evidencia que cuando se contrasta una hipótesis nunca se lo hace de manera aislada, sino que se la contrasta en conjunto con todas las hipótesis subsidiarias. Esto es lo que denominamos holismo de la contrastación. Este holismo no nos permite distinguir con claridad cuál fue el elemento en concreto que nos ha llevado a una consecuencia observacional falsa: ¿la hipótesis misma?, ¿las condiciones iniciales?, ¿las hipótesis auxiliares?...

Por último, indagamos cuál es el estatus de la inducción en el momento de poner a prueba las hipótesis científicas. Vimos que para los filósofos que han estudiado el tema de la contrastación de hipótesis, las hipótesis

son producto exclusivo de la imaginación del científico. La creación de una hipótesis no es un proceso inductivo de ningún tipo. Sin embargo, ¿tiene la inducción algún papel cuando, una vez que la hipótesis ha sido propuesta, tiene que someterse a prueba? Aquí surgen dos posibles enfoques: el confirmacionismo (que le da un papel importante a la inducción en la contrastación de hipótesis) y el falsacionismo (que no le da ningún papel a la inducción en la contrastación de hipótesis). Si bien, ninguno de estos enfoques admite la posibilidad de que las hipótesis contrastadas y aceptadas sean verificadas (por las razones expuestas en el tema de la asimetría de la contrastación), ambos proponen dos maneras diferentes de entender la situación en que una hipótesis pasa exitosamente la situación de contrastación. Para los confirmacionistas, en este caso la hipótesis resulta confirmada, es decir, la hipótesis es más probable a través de sus predicciones exitosas. Para los falsacionistas, la hipótesis resulta ser corroborada, es decir, no ha sido refutada en una contrastación particular.

Todos lo visto en este capítulo nos permitió analizar pormenorizadamente la contrastación de hipótesis no probabilísticas (la contrastación de hipótesis probabilísticas es bastante más compleja). Pero es importante señalar que el conocimiento científico no está formado por hipótesis aisladas, sino por teorías científicas. Las teorías científicas son entidades más complejas que las hipótesis. En los enfoques más clásicos, como el de Popper o el de Hempel, la contrastación de teorías se llevaba a cabo del mismo modo que la contrastación de hipótesis. Como veremos, esta idea será puesta en duda más adelante. La manera clásica de entender la noción de “teoría científica” es en tanto conjunto de enunciados deductivamente relacionados entre sí. Pero esta no ha sido la única forma de entender a las teorías. En el próximo capítulo: *Estructura y cambio de teorías: diferentes perspectivas filosóficas*, analizaremos los pormenores del análisis que los filósofos han hecho de esta nueva unidad de análisis, que es la teoría científica.

## Para ampliar

Para profundizar en el tema de la contrastación de hipótesis, es recomendable leer Díez y Moulines (1997). Aunque la temática está presentada de una manera ligeramente diferente, también es interesante leer un texto clásico sobre el tema como lo es Hempel (1998). Aunque sigue algunas de las categorías de Hempel (1998), que no hemos desarrollado del todo en este capítulo, Destéfano (2010) también puede servir como bibliografía ampliatoria sobre el tema.

Para tener ejemplos de investigaciones en el campo de la medicina, se pueden ver los documentales *Pioneros de la medicina*, [http://www.encuentro.gob.ar/sitios/encuentro/programas/detallePrograma?rec\\_id=117887](http://www.encuentro.gob.ar/sitios/encuentro/programas/detallePrograma?rec_id=117887) donde se recorren hitos de la medicina como la invención de la anestesia, el hallazgo de remedios a través de la autoexperimentación, etc. Allí se encuentran algunas de las investigaciones médicas más representativas con las que se pueden trabajar las categorías desarrolladas en este capítulo.

Otro caso de investigación con el que se pueden trabajar las nociones de este capítulo está en la película del director George Miller (1992), *Un milagro para Lorenzo*. Lorenzo sufre una enfermedad llamada ALD, que además de sordera, ceguera y dificultades para tragar y comunicarse, causaba la muerte. La película cuenta la odisea científica y personal que médicos y familiares de Lorenzo vivieron para descubrir la cura de esta enfermedad.

## Bibliografía

CHENEY, DOROTHY y Seyfarth, Robert (2007), *Baboon Metaphysics. The Evolution of a Social Mind*. Chicago, CUP.

DESTÉFANO, MARIELA (2010), La frontera de lo científico marcada por el método hipotético-deductivo, en Pedace, Karina y Riopa, Christian

(Eds.), *Cuestiones epistemológicas. Una introducción a la problemática científica*, Buenos Aires, Buenos Aires, Universidad Nacional de Luján.

DÍEZ, JOSÉ A. y Moulines, Carlos U. (1997), *Fundamentos de filosofía de la ciencia*, Barcelona, Ariel.

HEMPEL, KARL (1998, [1973]), *Filosofía de la Ciencia Natural*, Madrid, Alianza Editorial.

MOLEDO, LEONARDO y Magnani, Esteban (2009), *Diez teorías que conmovieron al mundo. De Copérnico al Big Bang*, Buenos Aires, Capital Intelectual.

POPPER, KARL (1971), *La lógica de la investigación científica*, Madrid, Tecnos.

ROSTAND, JEAN (1966), *Introducción a la historia de la biología*, Madrid, Ediciones Península.

SECO GRANJA, FERNANDO y Jiménez Ruiz, Antonio (2006), *Visión ultrasónica de los murciélagos, Seminario de Sistemas Inteligentes SSI2006*, Libro de actas, Universidad Rey Juan Carlos, Madrid.

ZAHN, RAINER et al. (2007), Social concepts are represented in the superior anterior temporal cortex, *PNAS* 104, (nº 15, pp.6430-6435).