

# INTRODUCCIÓN AL PENSAMIENTO CIENTÍFICO (2019/20)

(Resumen de los textos de las presentaciones)

## Bloque I: Evidencia, verdad y conocimiento científico

### 1. Ciencia, hechos y evidencia

#### 1.1. La evidencia como guía del conocimiento científico

##### Ciencia basada en hechos y objetividad

- La **ciencia** aspira a proporcionar **conocimiento fiable basado en hechos**. El objetivo de la investigación científica es comprender **cómo son de hecho las cosas**, no cómo imaginamos o deseamos que sean.

*Ejemplos: ¿Cuál es la estructura del benceno? ¿Cómo se produce la división celular? ¿Cuáles son las propiedades de los agujeros negros?*

- **Hechos**: cómo son las cosas, aquello que es verdad. **Es un hecho que  $p$  = Es verdad que  $p$**

*Ejemplos: Es un hecho que un átomo de hidrógeno tiene un protón = es verdad que un átomo de hidrógeno tiene un protón.*

- **La ciencia aspira a la objetividad** (= una cuestión es objetiva si no depende de las **opiniones o deseos** de quienes la evalúan), es decir, a basarse en hechos objetivos.

*Ejemplos: La cuestión de si la Tierra tiene más de 4000 años es objetiva: el hecho de que la Tierra tenga más de 4000 años no depende de que nosotros creamos (o deseemos) que sea así. En cambio, la cuestión de si el helado de fresa está más rico que el de chocolate no es objetiva (depende del gusto de cada uno).*

##### Ciencia y evidencia

- **Evidencia**: pruebas, indicios, pistas.
- Evidencia acerca de si  $p$ : consideraciones que tienen relevancia para determinar si  $p$  es verdad.
- La evidencia de que  $p$  es algo que hace **evidente**, **indica** o hace **probable** que  $p$  sea verdad.

*Ejemplos: La radiación de fondo de microondas es evidencia de que el Big Bang tuvo lugar.*

- La **investigación científica toma como guía la evidencia** disponible, ya que su meta es averiguar cómo son de verdad las cosas; factores no evidenciales (como los deseos o preferencias del científico) **no son relevantes** para una investigación acerca de la verdad de  $p$ .

*Ejemplo: Un físico de partículas se apoya en la evidencia proporcionada por experimentos de colisiones entre partículas para averiguar cuáles son (de hecho) las propiedades de las partículas subatómicas.*

- **Analogía**: Un detective investiga un crimen basándose en la evidencia disponible: informes de los testigos, grabaciones, análisis forenses, el arma encontrada en la escena del crimen... No ha de dejarse influir por factores no evidenciales: superstición, amistad con algún acusado, deseo de finalizar la investigación ...

#### 1.2. Evidencia, verdad y éxito práctico

- Queremos conocimiento basado en evidencia porque es **útil**. La comprensión de cómo funcionan las cosas nos permite **realizar predicciones acertadas e intervenir con éxito en el mundo**. Las creencias verdaderas

tienden a llevar al éxito práctico con más fiabilidad que las falsas, pues el éxito práctico no depende solo de nuestros deseos y opiniones, sino de **cómo son de hecho las cosas**: tiene una dimensión **objetiva**.

*Ejemplo: María está decidiendo si comer una seta. Si su creencia de que la seta es comestible es verdadera, podrá comérsela sin intoxicarse. En cambio, si es falsa, es probable que se intoxique al comerla, pero todo depende de si la seta es de hecho tóxica o no.*

- La ciencia ofrece una **guía fiable** para la acción exitosa, ya que se basa en evidencia acerca de cómo es de hecho el mundo. El conocimiento científico permite **tomar decisiones informadas** y saber cuáles serán las consecuencias de nuestros actos y qué opciones ofrecen mayor probabilidad de alcanzar un objetivo.

*Ejemplo: Un médico que busque prescribir un tratamiento efectivo y fiable se apoyará en evidencia acerca de los efectos de los tratamientos disponibles. En cambio, no habrá certeza sobre la fiabilidad de un tratamiento que no esté respaldado por evidencia sobre sus efectos (por ejemplo, un tratamiento escogido de manera supersticiosa).*

- Además, puede argumentarse que la investigación científica tiene valor en sí misma: curiosidad, deseo de comprender cómo funcionan las cosas....

#### Ciencia básica y aplicada, tecnología, motivaciones prácticas

- **Ciencia básica**: investigación científica no enfocada directamente a aplicaciones prácticas.
- **Ciencia aplicada**: aplicación de conocimientos científicos a cuestiones prácticas (ingeniería, medicina...)
- Las ciencias básica y aplicada están **conectadas entre sí**: investigaciones científicas básicas realizadas sin fines prácticos inmediatos pueden acabar teniendo aplicaciones de gran alcance.

*Ejemplos: Mecánica cuántica: láser, semiconductores (transistores, microchips, PC...). Teoría de la Relatividad: GPS, energía nuclear...*

- Los avances científicos desempeñan un papel crucial en el **desarrollo tecnológico** (y viceversa).

*Ejemplo: Descubrimiento de las ondas electromagnéticas (Maxwell, Hertz): telégrafo, radio, televisión...*

- **La investigación científica está a menudo motivada por finalidades prácticas**. Las motivaciones prácticas del científico y su entorno social contribuirán a determinar qué líneas de investigación reciben más atención, recursos materiales y financiación.

*Ejemplo: La investigación en bioquímica está en gran medida promovida por la búsqueda de tratamientos médicos.*

### 1.3. Evidencia científica frente a tradición y autoridad

- La investigación científica adopta una actitud **abierta, antidogmática y crítica**. Ninguna tesis o propuesta se acepta si no está suficientemente respaldada por la evidencia. En principio, **cualquier postura puede ser revisada y sometida a crítica** si aparece evidencia en su contra: ninguna es un dogma incuestionable.
- En concreto, no se aceptará una tesis simplemente porque esté apoyada por la **tradición**, el **consenso social**, o una **autoridad** considerada infalible. El **criterio decisivo** para aceptar o rechazar una tesis científica es la **evidencia directa** acerca de la verdad de tal tesis.

*Ejemplo: Las teorías conspiranoicas (e.g. terraplanismo, negacionismo de la llegada a la Luna, movimiento antivacunas) suelen ser insensibles a la llegada de evidencia en su contra.*

#### Ciencia, tradición y autoridad

- El surgimiento de la **ciencia moderna** está marcado por el **enfrentamiento con la tradición y con el principio de autoridad**. La actitud científica reivindica la **autonomía intelectual**: los científicos han de evaluar por sí mismos la evidencia disponible, en lugar de seguir de manera acrítica opiniones sostenidas por la tradición y el pensamiento recibido, o por la autoridad. Una actitud científica cuestiona los **argumentos de autoridad** (= argumentos a favor de una tesis que apelan exclusivamente al hecho de que una autoridad la ha defendido).

*Ejemplos: Darwin y la teoría de la evolución.*

- Científicos como Galileo (1554-1642) desafiaron la autoridad de textos religiosos o clásicos (e.g. Aristóteles), apelando a la evidencia empírica y rehusando aceptar ideas tradicionales, pero que estaban en conflicto con la evidencia disponible. Galileo argumentó que los textos religiosos no deben considerarse evidencia científica (son compatibles con la ciencia en la medida en que tratan cuestiones espirituales, en lugar de describir el mundo).

*Ejemplo: Galileo observó a través del telescopio manchas solares e irregularidades en la superficie lunar. Tomó estas observaciones como evidencia para rechazar la tesis aristotélica de que el Sol y la Luna son cuerpos celestes incorruptibles y sin imperfecciones.*

- ¿Hay algún papel para la autoridad en la ciencia?
- **Expertos científicos** = Investigadores cuyas opiniones acerca de ciertas cuestiones científicas son fiables. Los expertos merecen ser considerados autoridades fiables acerca de las cuestiones en que se especializan. Sin embargo, un experto solo tiene autoridad científica en la medida en que sus opiniones estén basadas en la evidencia. Si su opinión entra en conflicto con ella, será sometida a crítica.
- Internet y las redes sociales incluyen numerosas fuentes de información que se presentan de manera ilegítima como autoridades (**fake news, bulos...**). Confiar acríticamente en tales fuentes, sin cuestionar su fiabilidad y sin evaluar si existe evidencia en su contra, supone adoptar una actitud poco científica.

#### 1.4. Evidencia, sesgos y prejuicios

##### Ciencia y conocimiento ordinario

- Nuestras creencias ordinarias sobre el mundo también tienden a basarse en la evidencia.

*Ejemplo: Para decidir si llevar paraguas, buscaremos evidencia sobre si va a llover (consultar un pronóstico, mirar por la ventana...).*

- La investigación científica puede verse entonces como **una extensión** refinada y sistematizada de nuestra forma ordinaria de adquirir conocimientos sobre el mundo.
- Sin embargo, al tomar decisiones y formar creencias en contextos cotidianos, en ocasiones evaluamos la evidencia de manera distorsionada o sesgada, o formamos opiniones que no se basan en ella: **prejuicios, sesgos, pensamiento desiderativo** (wishful thinking). La ciencia trata de corregir y evitar estos defectos.

##### Prejuicios

- La investigación científica busca basarse siempre en evidencia directa acerca de su objeto de estudio, sin dejarse llevar por **prejuicios** (= opiniones acerca de una cuestión formadas sin haber considerado la evidencia directa acerca de tal cuestión).

*Ejemplo: Prejuicios sociales (juzgar a una persona por el grupo en el que se incluye). Opiniones apoyadas en el consenso social, o en la tradición, sin respaldo de evidencia fiable (e.g. el frío causa resfriados).*

##### Evidencia, verdad y deseos

- La investigación basada en la evidencia es incompatible con creencias basadas en lo que deseáramos que sucediera. Una actitud científica impide creer que *p* solo porque deseemos que *p* sea verdad.
- **Pensamiento desiderativo (wishful thinking)**: proceso de formación de creencias influido por nuestros deseos acerca de cómo queremos que sea el mundo (en lugar de la evidencia acerca de cómo de hecho es el mundo). No siempre es fácil de reconocer, controlar y evitar. Un sujeto puede dar más peso **inconscientemente** a la evidencia que favorece su opción preferida, dejando de lado evidencia contraria.

*Ejemplos: Un hinchista de fútbol que cree que su equipo ganará un torneo porque desea que sea así, pese a la evidencia que indica que es enormemente improbable que su equipo triunfe. Creer, contra la evidencia, que un cierto fenómeno no ocurrirá porque sus consecuencias serían demasiado desastrosas (e.g. cambio climático).*

## Sesgos

- **Sesgo cognitivo:** distorsión sistemática en la evaluación e interpretación de la evidencia disponible.

*Ejemplos: Errores sistemáticos al razonar intuitivamente con grandes cantidades, o con probabilidades (falacia del jugador).*

- **Sesgo de confirmación:** tendencia a prestar más atención y dar más peso a la evidencia que favorece tesis que estamos inclinados a aceptar y a ignorar evidencia en contra.
- **Pensamiento grupal:** tendencia a aceptar la opinión mayoritaria del grupo al que se pertenece.

La investigación científica intenta eludir estos sesgos acudiendo a métodos sistemáticos de evaluación de la evidencia que los corrijan o minimicen (e.g. experimentos anonimizados).

## 2. Conocimiento empírico y observación

### 2.1. Empirismo

#### Evidencia observacional

- La **observación** es la **fuentes básica de evidencia científica** acerca de cómo es el mundo.
- **Evidencia observacional:** la obtenida a través de nuestros sentidos (quizás con la intermediación de instrumentos, e.g. telescopio).
- La percepción nos proporciona información (**datos**) acerca de nuestro entorno.

*Ejemplos: Una forma directa de averiguar si está lloviendo es a través de la vista (mirando por la ventana) o el tacto (sacando la mano). La posición de diversos astros en la bóveda celeste puede observarse a simple vista.*

#### Observación y objetividad

- **La observación no está sujeta a control de la voluntad:** no podemos elegir ver lo que queremos ver. Qué observamos depende de cómo es de hecho el mundo (cómo es el objeto observado). Por supuesto, en general podemos escoger a dónde dirigir nuestra mirada, o cerrar los ojos, pero no elegimos lo que vemos al fijar la atención sobre un objeto.

*Ejemplo: Si dirijo la vista hacia mi mesa (verde), no puedo elegir verla naranja: mi experiencia visual de la mesa es por fuerza la experiencia de ver algo verde.*

- **La observación es objetiva** en tanto que no depende (al menos totalmente) de las opiniones, deseos o creencias del observador, sino de cómo es el mundo.
- No obstante, **la observación no es infalible:**
  - Las experiencias sensoriales pueden resultar engañosas. Existen **ilusiones** en las que el observador parece observar algo que realmente no es el caso (e.g. espejismos) y la precisión y fiabilidad de nuestros mecanismos perceptivos tiene limitaciones.

*Ejemplo: Nuestra visión es imprecisa en caso de iluminación deficiente (e.g. oscuridad, niebla), o para objetos muy pequeños o distantes.*

- Diferentes individuos pueden tener distinta capacidad perceptiva (e.g. mayor o menor agudeza visual).

- Puede incluso argumentarse que la manera en qué interpretamos/experimentamos un episodio observacional está influida por nuestras creencias, habilidades, emociones y experiencia previa, y por el contexto social y cultural.

*Ejemplos: Un médico experto y un estudiante no experimentan lo mismo cuando observan una radiografía. Un guía de montaña experto percibirá pistas sobre la presencia de animales donde un observador inexperto sólo ve bosque y matorrales.*

- No obstante, en general, cuál es la experiencia sensorial que tiene un sujeto dependerá de forma crucial de **cómo es de hecho** la situación observada (e.g. de si hay o no hay huellas de animales en el terreno observado por el guía de montaña). Además, cómo es realmente el mundo determinará de manera objetiva si la experiencia sensorial del sujeto ofrece información certera sobre el mundo. En este sentido, **la observación es objetiva** y la evidencia observacional ofrece una base objetiva para la ciencia.

#### Fiabilidad de la observación

- **Pese a ser fallible, la observación perceptiva es fiable en condiciones normales.** Las posibilidades de error pueden reducirse repitiendo la observación, buscando condiciones favorables (buena iluminación, distintas perspectivas...). Además, una observación incorrecta acabará entrando en conflicto con otras observaciones, o dando lugar a predicciones e intervenciones prácticas poco exitosas.
- **Presuposición antiescéptica:** en condiciones adecuadas, la observación perceptiva proporciona información fiable acerca de cómo es de hecho el mundo. La observación es fallible, pero también **objetiva y fiable**.
- (Posible explicación evolutiva: nuestros mecanismos perceptivos han sido seleccionados en virtud de su fiabilidad ofreciendo información relevante sobre el entorno).

#### Empirismo

- **Empirismo** = El conocimiento científico acerca del mundo se deriva de la observación (es decir, de las experiencias sensoriales).
- **Evidencia empírica** = Evidencia basada en la experiencia, esto es, evidencia observacional.
- La evidencia observacional (= empírica) constituye el criterio fundamental para determinar la aceptabilidad de una tesis científica. Una creencia acerca del mundo no es científicamente aceptable si está en tensión con la mejor evidencia empírica disponible. Además, las creencias científicas deben revisarse a la luz de conflictos con la evidencia empírica.

### *2.2. Carácter público de la observación científica*

- **La observación científica aspira a ofrecer evidencia objetiva** (independiente de las opiniones e idiosincrasias del observador). Si la evidencia observacional es objetiva, en principio ha de ser accesible para distintos individuos con capacidades perceptivas semejantes (i.e. **intersubjetiva**).
- Para garantizar la objetividad de la evidencia empírica, **las observaciones han de poder ser repetidas y evaluadas por distintos investigadores**, lo que proporcionará evidencia empírica difícilmente cuestionable (se podrán descubrir y corregir errores o engaños) y que otros podrán utilizar. Una observación privada e inaccesible para otros sujetos no será admitida como evidencia científica.

*Ejemplo: Las experiencias incommunicables de un místico o un chamán no constituyen evidencia científica.*

#### La observación como evidencia neutral

- Idealmente, la observación ofrece **evidencia objetiva neutral** que permite decidir debates entre teorías científicas alternativas. Para ello debe ser aceptable por investigadores que defiendan posturas enfrentadas. Es importante que las observaciones científicas puedan realizarse aplicando **procedimientos protocolarios y rutinarios** sobre los que no haya desacuerdo entre investigadores rivales.

*Ejemplos: Uso del telescopio y el microscopio. Técnicas de análisis genético.*

- Las observaciones científicas aceptables deben ser:
  - a) **Repetibles**: Han de poder ser repetidas y comprobadas en distintas ocasiones y por distintos sujetos.
  - b) **Replicables**: La repetición de la observación en situaciones semejantes ha de arrojar el mismo resultado.
- Una observación que se repita en condiciones similares sin replicar el resultado inicial no será admitida como evidencia aceptable (e.g. (supuesta) observación no repetida de monopolos magnéticos por Blas Cabrera).
- La repetibilidad de la observación tiene **límites**: puede haber eventos solo observables en una ocasión, como el estallido de una supernova o el eclipse observado por Eddington en 1919. En cualquier caso, para que la observación cuente como fuente de evidencia científica, diferentes observadores tendrían que poder realizar observaciones similares de un mismo evento (de lo contrario cabría cuestionar el carácter objetivo de tales observaciones).

#### La cuantificación de la observación

- La evidencia observacional científica tiende a ser **medible cuantitativamente** (es decir, mediante medidas numéricas). Esto permite **comparar con precisión observaciones realizadas por distintos sujetos o en distintas circunstancias**.
- La cuantificación de la observación requiere el desarrollo de **sistemas de unidades de medidas** (e.g. el sistema métrico, m, kg, litros...).

*Ejemplos: La duración temporal se mide (mediante relojes) en segundos, minutos, etc. La longitud se mide en metros, centímetros, etc.*

- No obstante, hay ciertos tipos de evidencia observacional que no son fácilmente cuantificables.

*Ejemplos: Observación del comportamiento en etnología, antropología o psicología. Evidencia obtenida mediante métodos cualitativos en ciencias sociales (e.g. entrevistas abiertas).*

### 2.3. Instrumentos

- **Observación directa** es la realizada directamente a través de los mecanismos perceptivos del observador (vista, oído, tacto...). Pero la evidencia empírica científica involucra con frecuencia el uso de **instrumentos**.

*Ejemplos: gafas, telescopio, cámara fotográfica, contador Geiger para la medida de radioactividad.*

- Algunos instrumentos amplifican, mejoran o corrigen los sentidos del observador (e.g. gafas), pero en otros casos la **observación** es **indirecta**: los instrumentos registran información a la que el observador no accede sensorialmente (e.g. contador Geiger, microscopio electrónico, radiotelescopio).
- El uso de instrumentos proporciona acceso a información del entorno que no sería directamente detectable mediante nuestros sentidos o no sería accesible con la misma precisión, fiabilidad y conveniencia (pequeñez o distancia de los objetos, oscuridad, propiedades no perceptibles, como la contaminación atmosférica...). Los instrumentos ayudan a **superar las limitaciones** de la observación perceptiva.
- Los instrumentos de medida permiten **cuantificar la observación**.

*Ejemplos: Una cinta métrica permite medir de manera cuantitativa la longitud del objeto observado. Un termómetro, la temperatura.*

#### ¿Es fiable la observación con instrumentos?

- **Los instrumentos pueden introducir errores** en la observación, cuando hay algún defecto de fabricación, el diseño del instrumento es poco fiable o se usa mal. Para confiar en las observaciones realizadas, el instrumento debe ser fiable, ser usado correctamente y estar bien calibrado (es decir, realizar mediciones ajustadas a la escala de medida empleada).

- No obstante, en casos estándar, investigadores partidarios de tesis científicas rivales estarán de acuerdo acerca de la aceptabilidad de los resultados obtenidos usando instrumentos de observación, de modo que la evidencia empírica generada será admitida por todos y permitirá decidir entre diferentes teorías.

*Ejemplo: Los investigadores actuales aceptan las observaciones realizadas usando telescopios o microscopios estándar.*

### La tecnología como motor de la ciencia

- Numerosos avances científicos están directamente asociados a la invención de **nuevos instrumentos y técnicas de observación y medida**. La nueva evidencia empírica aportada por las innovaciones tecnológicas permite proponer y comprobar empíricamente nuevas teorías científicas.

*Ejemplos: El microscopio y la biología celular a partir del siglo XIX. Las técnicas de análisis de estructuras cristalinas por difracción de rayos X y el descubrimiento de la estructura del ADN.*

- A su vez, descubrimientos teóricos pueden dar lugar a nuevos aparatos, instrumentos y técnicas de observación.

*Ejemplo: El microscopio de efecto túnel (STM), que proporciona imágenes de superficies a escala atómica, se basa en el efecto túnel, fenómeno solo explicable por la mecánica cuántica.*

### Galileo y el telescopio

- El uso del telescopio permitió a Galileo obtener evidencia contraria a las teorías astronómicas tradicionales.

*Ejemplos: La observación de manchas solares probó que el Sol no era un astro incorruptible con una superficie uniforme y perfecta. La observación de satélites orbitando en torno a Júpiter probó que no todos los cuerpos celestes orbitan en torno a la Tierra.*

- Galileo realizó comprobaciones para mostrar que sus observaciones no se debían a defectos o interferencias introducidos por el telescopio. El uso del telescopio fue pronto aceptado por la mayoría de la comunidad científica, de modo que la evidencia observacional obtenida por Galileo (y quienes realizaron observaciones similares) fue admitida en el debate entre las teorías geocéntricas y las nuevas propuestas heliocéntricas.

## 2.4. La institucionalización de la evidencia científica

### Instituciones para una ciencia pública

- El carácter público e intersubjetivo de la evidencia empírica científica se ve reflejado en la existencia de **instituciones dedicadas a la producción, difusión y comprobación de resultados científicos**.
- La ciencia no es una actividad individualista y realizada en privado. Desde el surgimiento de la ciencia moderna, se ha asistido a un progresivo proceso de **profesionalización e institucionalización**, con el consiguiente incremento del número de científicos y de las interacciones entre investigadores.
- **La ciencia contemporánea es una actividad marcadamente social**. Los investigadores forman **comunidades científicas** en las que se intercambia información y se revisan colectivamente los resultados propuestos por cada investigador. Es habitual que los científicos se apoyen en observaciones realizadas por otros investigadores.
- **La ciencia es una práctica social argumentativa**: los científicos desarrollan su investigación en conversación con otros investigadores, dando lugar a debates en los que se proporcionan argumentos a favor o en contra de diversas propuestas. Los investigadores intentan que sus propuestas sean aceptadas por la comunidad científica, ofreciendo argumentos y justificaciones apoyadas en la evidencia empírica disponible. Una tesis sin respaldo evidencial será criticada por otros miembros de la comunidad científica, que actúa de filtro.

### Laboratorios, centros de investigación y universidades

- Las observaciones científicas raramente son realizadas por investigadores independientes sin conexión con alguna institución científica, pues suelen requerir medios e infraestructuras (tiempo, financiación, instrumentos, colaboración con otros científicos) que solo pueden ser proporcionados por instituciones como **universidades o centros de investigación**.
- Las observaciones que involucran instrumentación sofisticada típicamente se llevan a cabo dentro de **laboratorios u observatorios** (e.g. grandes telescopios en astronomía) y es habitual que las observaciones complejas sean realizadas por **equipos de investigación** (incluso redes coordinando varios equipos).

### Revistas científicas

- **Los resultados científicos se difunden mediante revistas**, actas de congresos y otras publicaciones. Las revistas permiten hacer públicos resultados científicos y la evidencia que los respalda, para puedan ser criticados y verificados por otros investigadores. La evidencia publicada en una revista queda disponible para que otros científicos apoyen en ella su investigación. Un artículo que presente resultados observacionales suele incluir una sección en la que se exponen detalladamente los métodos empleados, con el fin de que otros investigadores puedan repetir la observación o encontrar errores.
- La publicación de un resultado en una revista implica típicamente haber superado una primera revisión por otros investigadores, que deciden si es un resultado publicable. Este proceso, denominado **revisión por pares**, tiene como fin garantizar una fiabilidad suficiente en los resultados que aparezcan en revistas científicas. Si se comprueba que un resultado publicado en una revista es erróneo, se puede retirar el artículo (por ejemplo, en caso de observaciones fraudulentas o defectuosas).

### Congresos científicos, sociedades y academias

- Además de mediante publicaciones, **los científicos comunican sus resultados en congresos** y otros encuentros (talleres, seminarios). Con el desarrollo de la ciencia moderna, aparecieron instituciones como las sociedades y academias para promover el intercambio de ideas y resultados entre investigadores (e.g. Royal Society, Academia de Ciencias de Francia). Los congresos permiten dar a conocer los resultados obtenidos, así como entablar discusiones y establecer colaboraciones con otros investigadores.

Tanto los congresos como las publicaciones facilitan que los resultados alcanzados por un investigador tengan impacto en el debate científico y contribuyan al avance del campo en el que se integran.

*Ejemplo: El trabajo de Mendel en genética tuvo escasa influencia en la biología hasta que fue suficientemente difundido y pudo recibir atención por parte de la comunidad científica.*

### Sistemas de medida y estándares de observación

- Los **sistemas de unidades y patrones de medida uniformizados** hacen posible contrastar las observaciones y mediciones realizadas por distintos investigadores.

*Ejemplo: Sistema métrico (introducido a finales del s. XVIII, como parte de la institucionalización de la ciencia) y su evolución, el Sistema Internacional de Unidades (metro, kilogramo, segundo, amperio, mol, kelvin, candela).*

- Asimismo, la existencia de **protocolos y métodos estandarizados de observación** y uso de instrumentos permiten que investigadores en distintos centros y laboratorios puedan llevar a cabo observaciones análogas, con resultados comparables.

*Ejemplo: Técnicas estandarizadas de uso de microscopios en microbiología, preparación de muestras en placas de Petri, etc.*

## 3. Experimentación

### 3.1. ¿Qué es un experimento?



- La observación científica **no** es un proceso pasivo, en el que simplemente se registre información procedente del entorno. Para llevar a cabo observaciones relevantes, es necesario buscar información significativa. Los científicos generan **de manera activa** observaciones relevantes para su investigación. **Manipulan activamente el sistema que quieren estudiar** para observar los efectos de esta manipulación.

*Ejemplos: Darwin viajó alrededor del mundo en el Beagle recolectando fósiles y muestras geológicas. Eddington tuvo que viajar a la isla de Príncipe para observar el eclipse de 1919 que permitió confirmar la teoría general de la relatividad.*

#### Experimentación como extensión de la observación

- **Experimento** = Intervención en un sistema u objeto de estudio para observar los efectos que se producen como resultado de dicha intervención/manipulación.

*Ejemplo: Un químico puede observar la combustión del fósforo calentando muestras de fósforo en presencia de oxígeno.*

- La experimentación activa proporciona acceso a información no disponible para un observador pasivo. Permite estudiar fenómenos que no se observan fácilmente de manera espontánea (por ejemplo, reacciones químicas en el vacío o a gran temperatura). Además, los científicos pueden **alterar las sistemáticamente las condiciones del sistema que quieren estudiar**, y observar cómo resultan afectados el estado del sistema y los procesos que tienen lugar en él.

*Ejemplo: Un biólogo puede modificar sistemáticamente el código genético de una mosca Drosophila para observar qué efectos se producen en el fenotipo de la mosca (es decir, en sus rasgos y características).*

#### El experimento de I. Semmelweis

- **Ignaz Semmelweis** era médico en un hospital de maternidad en Viena (≈1847). La tasa de mortalidad (por fiebre puerperal) en la clínica atendida por médicos obstetras y estudiantes era sistemáticamente más alta que en la clínica atendida por matronas. Una de las diferencias entre las dos clínicas era que los médicos y estudiantes participaban en autopsias antes de atender a las pacientes de la clínica.
- Semmelweis realizó el siguiente **experimento**: hizo que los médicos y estudiantes se lavasen las manos con una solución de cloro desinfectante después de efectuar autopsias. La tasa de mortalidad en la clínica atendida por médicos descendió hasta alcanzar niveles similares o inferiores a los de la clínica gestionada por matronas. Mediante su experimento, Semmelweis pudo observar que la mortalidad por fiebre puerperal se reduce si el personal que atiende a las pacientes se desinfecta las manos después de estar en contacto con cadáveres o infecciones.

#### El experimento de Geiger, Marsden y Rutherford

- Rutherford y sus colaboradores Geiger y Marsden estaban interesados en estudiar la **estructura atómica** de la materia. Geiger y Marsden realizaron varios experimentos (1908-1913) en los que bombardeaban una lámina metálica delgada con pequeñas partículas cargadas a gran velocidad (partículas alfa). El objetivo era observar cómo se desviaban las partículas alfa al atravesar la lámina metálica.
- El resultado observado fue que la mayoría de las partículas apenas alteraban su trayectoria, aunque una pequeña parte se desviaba bruscamente. A partir de estas observaciones, Rutherford propuso su teoría del átomo, según la cual su carga positiva está concentrada en un pequeño núcleo en torno al cual orbitan los electrones de carga negativa. Las partículas alfa desviadas bruscamente eran las que impactaban contra el núcleo, mientras que las no desviadas pasaban por el espacio vacío entre el núcleo y los electrones.

### 3.2. Experimentación, laboratorios y observación controlada

#### Experimentación e interferencias

- Con frecuencia, la investigación científica tiene como objeto de estudio **sistemas complejos** en los que se **superponen varios procesos**. En muchos casos, los fenómenos que los científicos desean investigar no se presentan de manera aislada, sino en complejas interacciones con otros procesos, que pueden interferir con los efectos que se busca observar.

*Ejemplo: Queremos investigar una reacción química entre dos sustancias. Fuera del laboratorio, esta reacción puede verse distorsionada por la humedad del ambiente, por la interacción con gases atmosféricos o por la presencia de alguna sustancia contaminante.*

- **La experimentación hace posible eliminar factores que interfieran con el fenómeno que se desea observar**, manipulando el sistema estudiado para evitar o controlar la posible influencia de estas interferencias.

*Ejemplo: Un experimento químico realizado al vacío, eliminando la presencia de oxígeno atmosférico y aislando la reacción de posibles contaminaciones.*

- **El laboratorio ofrece un entorno con condiciones controladas**, que permite observar de manera aislada un proceso o fenómeno de interés. Es posible medir con precisión las alteraciones introducidas en el sistema estudiado (e.g. cambios en la cantidad de reactivos) manteniendo constantes las demás variables del sistema (e.g. temperatura, presión, humedad...)

*Ejemplo: En un laboratorio de química se pueden estudiar reacciones químicas regulando con precisión la pureza y cantidad de cada reactivo, la temperatura y la presión ambientales, y evitando la presencia de sustancias contaminantes.*

- **Experimento controlado:** experimento en el que se examina el efecto de manipular una variable del sistema estudiado, **controlando posibles interferencias** debidas a variaciones en otras variables del sistema. Una forma habitual de controlarlas es comparar el experimento con una situación idéntica en la que no se realiza dicha manipulación.

*Ejemplo: Un experimento de botánica en el que se compara el crecimiento de unas plantas tras añadir cierto fertilizante con el crecimiento de plantas idénticas sin el fertilizante, manteniendo constante la iluminación, el tipo de suelo, la temperatura y el riego.*

- Los experimentos controlados permiten determinar **si el efecto observado está causado por la modificación de la variable manipulada** (ya que se ha controlado la posible influencia del resto de variables del sistema). La experimentación controlada hace posible estudiar **relaciones de causa-efecto** (e.g. el fertilizante es la causa de la variación en el crecimiento de las plantas).

### El experimento de Semmelweis y la búsqueda de causas

- ¿Cuál era la causa de la divergencia en la tasa de mortalidad entre las dos clínicas del hospital de maternidad de Viena? En principio, esta divergencia podra deberse a diversas diferencias entre ambas clínicas: número de pacientes en cada clínica, técnicas empleadas, tipo de personal que atendía a las pacientes, posición en que tenían lugar los partos, etc.
- **Semmelweis descartó la mayoría de estas posibles causas**, en varias ocasiones **mediante experimentos** en los que eliminaba sistemáticamente una de las diferencias entre las clínicas. Por ejemplo, probó a adoptar la misma posición para los partos empleada en la otra clínica, sin observar reducciones en la mortalidad.
- Finalmente, descubrió que la causa de la alta mortalidad era que los médicos y estudiantes habían estado en contacto con cadáveres antes de tratar a las pacientes. La divergencia desapareció cuando realizó experimentos en los que se neutralizaba esta diferencia (lavándose las manos con desinfectante).

### El salto del laboratorio al mundo

- Los resultados de experimentos realizados en condiciones altamente controladas en el laboratorio **no siempre tienen validez aplicados a sistemas complejos en el mundo real**. Fuera del laboratorio, los efectos observados pueden distorsionarse o quedar neutralizados por la interferencia de factores no presentes en el laboratorio.

- Cuando se estudian sistemas complejos, existe una tensión entre la realización de experimentos en condiciones controladas y la obtención de resultados aplicables fuera del laboratorio.

*Ejemplo: Experimentos en laboratorio en psicología o economía.*

## 4. El método científico

### 4.1. ¿Qué es una hipótesis?

#### La ciencia como búsqueda de respuestas a preguntas

- La investigación científica no se reduce exclusivamente a la recopilación de evidencia empírica mediante observaciones y experimentos. Se guía por **preguntas de investigación**, planteadas ante problemas científicos (e.g. fenómenos para los que no se tiene explicación adecuada). Una parte importante de dicha investigación consiste en formular preguntas significativas y proponer posibles respuestas. Las observaciones y experimentos se llevan a cabo generalmente con el objetivo de verificar (o refutar) alguna posible respuesta a una pregunta y son científicamente relevantes en la medida en que contribuyan a ello.

*Ejemplos: Semmelweis intentaba responder la pregunta acerca de cuál era la causa de la divergencia entre las tasas de mortalidad de las dos clínicas del hospital de maternidad de Viena.*

- **Hipótesis:** posible respuesta a una pregunta de investigación.
- Proponer una hipótesis no implica tomarla como verdadera, sino tan solo como una posibilidad abierta (es decir, no se sabe si es verdadera o falsa). Las hipótesis se plantean como **conjeturas**, posibles respuestas a una pregunta todavía por comprobar.

*Ejemplo: “Se encuentran unos fósiles; por ejemplo, como aquellos que se conservan de los peces, pero lejos en el interior de un país. Para explicar el fenómeno, suponemos que alguna vez el mar cubrió esa tierra. Esto es otra hipótesis” (C.S. Peirce, 1893).*

#### Criterios para la formulación de hipótesis

- En principio, en la investigación científica se puede plantear cualquier hipótesis susceptible de comprobación empírica. No obstante, serán más plausibles o interesantes las que tengan las siguientes propiedades:
  - a) **Capacidad explicativa y generalidad:** hipótesis que puedan explicar una gran cantidad de fenómenos.
  - b) **Poder predictivo:** hipótesis de las que se deriven **predicciones novedosas** que puedan ser comprobadas empíricamente, no que simplemente den cuenta de evidencia ya conocida.
  - c) **Simpleza** (navaja de Ockham): cuando sea posible, son preferibles las hipótesis simples, que eviten complejidades innecesarias y no exijan introducir grandes cambios en teorías científicas exitosas.
- Este tipo de criterios sirven de **guía heurística** para la formulación de hipótesis, aunque **no son reglas rígidas** y a veces puede haber tensiones entre ellas. El **criterio último** para descartar una hipótesis será su incompatibilidad con la evidencia.

#### Hipótesis alternativas y comprobación empírica

- La investigación científica gira en torno al planteamiento de hipótesis y su comprobación empírica. Es habitual que se propongan varias **hipótesis alternativas** en relación con una pregunta científica. La obtención de evidencia empírica mediante observaciones y experimentos permitirá descartar las que sean incompatibles con ella. La ciencia funciona, por tanto, mediante un **método de prueba y error**.
- Una hipótesis será **refutada (falsada)** empíricamente si se muestra que no es compatible con la evidencia empírica disponible.

*Ejemplo: La hipótesis de que todos los cuerpos celestes giran únicamente en torno a la Tierra fue refutada empíricamente cuando Galileo observó la existencia de satélites orbitando alrededor de Júpiter.*

- Es imprescindible que **una hipótesis científica sea refutable/falsable** empíricamente: debe existir la posibilidad de que surja evidencia empírica que la refute. Una hipótesis formulada de manera que quede protegida frente a cualquier evidencia que pueda aparecer no será científica (K. Popper)

*Ejemplos: La hipótesis de que todos los cisnes son blancos es falsable: quedará refutada si se observa un cisne negro. Las predicciones de los horóscopos a menudo no son falsables: están formuladas de tal modo que serán compatibles con cualquier posible curso de eventos (e.g. "Este mes es probable que hagas nuevas amistades, aunque puede que el trabajo y otras preocupaciones te lo impidan").*

## 4.2. La comprobación empírica de hipótesis

### Hipótesis y predicción

- Para someter a comprobación empírica una hipótesis, hay que deducir las consecuencias observables que tendría, es decir, las **predicciones** que realiza. Una hipótesis quedará refutada empíricamente si alguna de sus predicciones resulta incompatible con la evidencia empírica obtenida mediante observaciones y experimentos.

*Ejemplos: La hipótesis de la generación espontánea predice que en una muestra de materia orgánica aislada del exterior surgirán microorganismos. Las observaciones experimentales de Pasteur (1861) mostraron que esta predicción falla, falsando de este modo la hipótesis.*

### El método científico

- La investigación científica, en consecuencia, es un proceso recursivo que tiende a desarrollarse de acuerdo con las siguientes fases:
  - 1) **Formulación de una pregunta** de investigación ante un problema no resuelto. Puede tratarse de un fenómeno no explicado o de la existencia de evidencia que refuta hipótesis planteadas previamente.
  - 2) **Propuesta de hipótesis**. Conjeturas presentadas como posibles respuestas a la pregunta de investigación.
  - 3) **Se infieren las predicciones e implicaciones empíricas** de las hipótesis propuestas.
  - 4) **Comprobación empírica de las implicaciones y predicciones** de las hipótesis, mediante observaciones y experimentos diseñados con tal fin.
  - 5) **Se descartan o revisan las hipótesis refutadas empíricamente.**

La nueva evidencia empírica obtenida puede dar lugar a la propuesta de nuevas hipótesis o a la formulación de nuevas preguntas, haciendo que el proceso sea recursivo.

- Este tipo de método de investigación se suele conocer como el **método hipotético-deductivo**, debido a que consiste en formular hipótesis, deducir sus implicaciones y comprobarlas empíricamente.

## 4.3. Claridad y precisión como ideales científicos

### Claridad y precisión como requisito para la refutabilidad

- Una hipótesis solo es comprobable empíricamente si sus implicaciones empíricas pueden determinarse de manera clara y precisa. **Claridad, precisión e inteligibilidad** son requisitos centrales de las hipótesis científicas. Una hipótesis formulada de manera vaga y ambigua no hará predicciones inequívocas y no será fácilmente refutable, por lo que no será admisible científicamente.

*Ejemplo: Las predicciones de los horóscopos suelen estar formuladas en un lenguaje ambiguo y poco preciso que dificulta su refutación.*

- Las hipótesis científicas deben formularse en un **lenguaje preciso y no ambiguo**. Los científicos suelen emplear **terminología técnica** con significados bien definidos y que no lleven a equívocos. Aunque el uso de lenguaje técnico suponga una barrera para los no expertos, permite minimizar la indeterminación y las confusiones en la interpretación de las propuestas científicas. El lenguaje científico no aspira a ser sugerente, misterioso o enigmático, sino a conseguir la máxima **claridad e inteligibilidad**.

*Ejemplos: gluon, entalpía, ribosoma, geodésica, Pleistoceno.*

### Ciencia y matemáticas

- El lenguaje matemático desempeña un papel fundamental en numerosas disciplinas científicas (especialmente desde el siglo XVII).

*Ejemplo: Ecuación de Schrödinger, ley de gravitación de Newton*

- El uso de lenguaje matemático y formal permite plantear hipótesis con precisión, de manera que queden determinadas inequívocamente sus predicciones. Asimismo, ofrece métodos deductivos sistemáticos para inferir de manera exhaustiva las implicaciones de una hipótesis.
- Las **predicciones** de una hipótesis formulada matemáticamente pueden expresarse de forma **cuantificada**, por lo que pueden ser contrastadas de manera precisa con mediciones observacionales.

*Ejemplo: La mecánica cuántica realiza predicciones cuantitativas de enorme precisión, que han podido ser comprobadas empíricamente con extraordinaria exactitud. El valor del momento magnético del electrón predicho coincide con las mediciones experimentales en más de diez cifras significativas ( $g/2 = 1.001\,159\,652\,18$ ).*

### 4.4. El carácter falible y corregible de la ciencia

- La investigación científica tiene un carácter **falible y corregible**. El método científico no garantiza que una hipótesis sea verdadera, sino tan solo que es compatible con la evidencia obtenida hasta este momento. Siempre queda abierta la posibilidad de que aparezca nueva evidencia que refute una hipótesis.
- Las hipótesis científicas se aceptan de manera **provisional y revisable** (carácter dinámico de la ciencia). La ciencia incluye **mecanismos de autocorrección y de revisión de hipótesis** ante la adquisición de nueva evidencia discrepante.

*Ejemplo: Las teorías de Newton de la mecánica y la gravitación fueron aceptadas durante 200 años, tenían un enorme poder explicativo y condujeron a numerosas predicciones exitosas (e.g. el descubrimiento de Neptuno). Sin embargo, a finales del s. XIX se empezó a obtener evidencia empírica que parecía en desacuerdo con ellas (e.g. experimento de Michelson-Morley, anomalías en la órbita de Mercurio). Finalmente, la teoría newtoniana fue sustituida a principios del s. XX por la teoría de la relatividad y por la mecánica cuántica. Estas teorías siguen siendo aceptadas en la actualidad, aunque se sabe que probablemente hayan de ser revisadas de algún modo (ya que en su actual formulación no son compatibles entre sí).*

### La falibilidad de la experimentación

- Cuando existe un conflicto entre una hipótesis y un resultado experimental, no siempre es la hipótesis la que debe ser revisada. **Los resultados experimentales también son falibles y revisables**.
- Un experimento puede generar mediciones incorrectas debido a **defectos en el montaje o diseño experimental**, o porque se apoye en alguna **asunción teórica errónea**. Si se encuentra evidencia de que un experimento es defectuoso, puede que haya que rechazar sus resultados, en lugar de las hipótesis teóricas. No obstante, **no será aceptable defender una hipótesis simplemente rechazando los experimentos incompatibles con ella**, sin disponer de evidencia de que el experimento es defectuoso.

### ¿Neutrinos más veloces que la luz?

- Uno de los postulados fundamentales de la teoría de la relatividad de Einstein es que ningún objeto puede alcanzar una velocidad superior a la de la luz en el vacío ( $c \approx 300000 \text{ km/s}$ ).
- En 2011, un equipo de investigación (experimento Ópera) anunció que había realizado un experimento en el que parecían detectarse neutrinos (una partícula elemental) más rápidos que la luz. Si estos resultados fuesen correctos, habrían refutado la teoría de la relatividad.
- No obstante, la comunidad científica se mantuvo escéptica: la mayoría de los científicos pensaban que debía de haber algún fallo en el experimento, dado que la teoría de la relatividad había superado numerosas comprobaciones empíricas.
- En 2012 se comprobó finalmente que el resultado se debía a un defecto en el montaje experimental (un fallo en el cableado). Una vez corregido, las velocidades medidas eran compatibles con la teoría de la relatividad.
- El caso del experimento Ópera muestra que, **cuando aparecen resultados experimentales discordantes con una teoría sólidamente establecida, con frecuencia lo razonable es cuestionar la fiabilidad de los experimentos, y no la teoría.**

#### Holismo de la comprobación empírica

- La comprobación y revisión de hipótesis frente a la evidencia empírica no es un proceso lineal. En general, una hipótesis científica lleva a predicciones comprobables empíricamente solo en combinación con otras **hipótesis auxiliares**.
- **Holismo empírico:** La evidencia empírica no suele refutar hipótesis aisladas, sino **conjuntos de hipótesis y presuposiciones** (incluyendo presuposiciones experimentales involucradas en la obtención e interpretación de la evidencia). Cuando la evidencia refuta una predicción, **no siempre está claro qué parte** del conjunto de hipótesis y presuposiciones **se ha de revisar**. Para decidirlo, habrá que examinar qué revisiones permiten un mejor ajuste global de la teoría con la evidencia disponible.

#### El descubrimiento de Neptuno

- A principios del s. XIX, se habían observado **irregularidades en la órbita de Urano**. Estas irregularidades eran incompatibles con las predicciones de la ley de Newton de la gravitación **en combinación con la hipótesis auxiliar de que no había planetas en el Sistema Solar más allá de Urano**.
- ¿Qué hipótesis se debía revisar ante esta observación? Dado que la ley de Newton tenía gran capacidad explicativa y había dado lugar a numerosas predicciones exitosas, parecía lógico cuestionar la hipótesis de que no hay planetas más lejanos que Urano.
- Le Verrier conjeturó que un planeta hasta entonces desconocido perturbaba la órbita de Urano (1845). Utilizando la ley de Newton, calculó la posición que debía tener dicho planeta para causar las irregularidades observadas. En 1846, Galle observó el nuevo planeta (Neptuno), en la posición predicha por Le Verrier. El descubrimiento “teórico” de Neptuno se consideró un gran éxito predictivo de la astronomía newtoniana.

## Bloque II: Los límites de la ciencia

### 5. La inducción y sus problemas

#### 5.1. ¿Qué es la inducción?

##### Razonamientos

La investigación científica involucra **razonamientos** que permiten derivar conclusiones a partir de la evidencia.

- **Razonamiento/inferencia** = Proceso por el que un sujeto pasa de unas creencias a otras (con el fin de adoptar creencias correctas/justificadas). De manera más general, el razonamiento es **una transición entre estados mentales**: el razonamiento práctico puede involucrar deseos e intenciones, además de creencias.

*Ejemplo:*

*Creencia 1: Creer que “Bélgica tiene más población que Suiza”*

*Creencia 2: Creer que “Suiza tiene más población que Dinamarca”*

*Creencia 3: Creer que “Bélgica tiene más población que Dinamarca”*

*Mediante una inferencia/razonamiento, un sujeto puede pasar a formar la creencia 3 partiendo de las creencias 1 y 2.*

- **Premisas**: proposiciones que constituyen el contenido de las creencias de las que se parte en un razonamiento. (“Bélgica tiene más población que Suiza” y “Suiza tiene más población que Dinamarca”)
- **Conclusión**: proposición que constituye el contenido de la creencia a la que se llega en un razonamiento. (“Bélgica tiene más población que Dinamarca”)

##### ¿Qué es un argumento?

- **Argumento** = Secuencia de proposiciones, constituida por un conjunto de premisas de las que se siguen ciertas conclusiones (se pasa de las creencias en las premisas del argumento a una creencia en la conclusión mediante un buen razonamiento/inferencia).

*Ejemplo:*

*Premisa 1: Bélgica tiene más población que Suiza*

*Premisa 2: Suiza tiene más población que Dinamarca*

*Conclusión: Bélgica tiene más población que Dinamarca*

*Al razonar de acuerdo con este argumento, se formará una creencia con contenido “Bélgica tiene más población que Dinamarca” (conclusión) a partir de creencias iniciales con contenido “Bélgica tiene más población que Suiza” y “Suiza tiene más población que Dinamarca” (premisas).*

- Una transición entre creencias es una **buena inferencia** solo si, **cuando se parte de premisas verdaderas, se llega de manera fiable a conclusiones también verdaderas.**

##### Razonamiento deductivo

- En un razonamiento deductivo **válido**, si las premisas son verdaderas, la conclusión es también **necesariamente** verdadera. Si las premisas son falsas, es posible que la conclusión también sea falsa.

*Ejemplo:*

*Premisa 1: El ornitorrinco es un monotrema*

*Premisa 2: Todos los monotremas son ovíparos*

*Conclusión: El ornitorrinco es ovíparo*

- Las inferencias lógicas y matemáticas son ejemplos de razonamiento deductivo.
- En la investigación científica se recurre al razonamiento deductivo para extraer las implicaciones deductivas (i.e. necesarias) de una hipótesis. La deducción permite determinar las **predicciones** que se derivan de una hipótesis.

*Ejemplo:*

*Hipótesis (Premisa 1): La masa de los reactivos consumidos en una reacción química es igual a la masa de los productos.*

*Premisa 2: La masa de los reactivos consumidos en cierta reacción de combustión es 5 g.*

*Conclusión (Predicción): La masa de los productos de dicha reacción de combustión será 5 g.*

### Razonamiento inductivo

- El **razonamiento inductivo** parte de **premisas acerca de casos particulares** para llegar a **conclusiones generales**. Este razonamiento permite generalizar a partir de observaciones de casos concretos.

*Ejemplos:*

*Premisa 1: El día X1 llovió y hubo atascos de tráfico*

*Premisa 2: El día X2 llovió y hubo atascos de tráfico*

...

*Premisa n: El día Xn llovió y hubo atascos de tráfico*

*Conclusión: Siempre que llueve hay atascos de tráfico*

*Premisa: Las muestras de agua observadas hasta ahora se congelan a 0° C*

*Conclusión: El agua se congela a 0° C*

- La inducción es necesaria para **aprender a partir de la experiencia**. Para pasar de observaciones sobre casos particulares a tesis científicas generales hay que emplear el razonamiento inductivo.

*Ejemplo:*

*Premisas: Observaciones sobre la conservación de la masa en reacciones químicas particulares*

*Conclusión: Ley de la conservación de la masa (de aplicación general a toda reacción química)*

- **En el razonamiento inductivo, la verdad de las premisas no siempre garantiza la verdad de la conclusión** (en principio es posible que las premisas sean verdaderas y la conclusión falsa). La verdad de la conclusión se sigue solo de manera **fiable** (i.e. de manera probable, en condiciones normales, si no hay excepciones).

*Ejemplo: Incluso si hasta ahora siempre que ha llovido ha habido atascos, es posible que justo hoy llueva y no los haya (por ejemplo, son vacaciones y hay pocos coches en la calle).*

## 5.2. El problema de la inducción

### ¿Tenemos justificación para aceptar la conclusión de una inferencia inductiva?

- Las inferencias inductivas **no garantizan que sus conclusiones sean verdaderas, incluso si todas sus premisas lo son**. Esto se debe a que se realizan generalizaciones a partir de un conjunto de observaciones sobre casos particulares (e.g. “Siempre que llueve hay atascos de tráfico”), pero la generalización alcanzada en la conclusión se aplica más allá de los casos observados. ¿En qué medida está justificada? En realidad,



siempre existe la posibilidad de que en un nuevo caso la generalización no se cumpla, y de hecho podemos encontrar excepciones a generalizaciones que parecían confirmadas por muchos casos.

- Los científicos europeos hasta el s. XVIII solo habían observado cisnes blancos. A partir de estas múltiples observaciones, parecía poder inferirse inductivamente que todos los cisnes son blancos. Los primeros europeos en observar **cisnes negros** fueron exploradores ingleses en Australia a finales del s. XVII. Los cisnes negros de Australia son una excepción a la generalización “Todos los cisnes son blancos” (que parecía sólidamente confirmada por numerosas observaciones).
- Incluso si una inferencia inductiva está apoyada por un gran número de observaciones, es posible que aparezcan **excepciones inesperadas**. La expresión “cisne negro” se usa para referirse a eventos inesperados o sorprendentes.

#### El reto de Hume a la inducción

- Solo podemos establecer una generalización universal inductivamente a partir de la observación de casos particulares si asumimos que existe suficiente uniformidad entre los casos ya observados y los no observados. Presuponemos que **existe una uniformidad o regularidad entre cómo fueron las cosas en el pasado y cómo lo serán en el futuro**.
- **Reto de Hume:** ¿Cuál es nuestra justificación para asumir que hay suficiente uniformidad/regularidad entre los casos particulares observados y otros casos semejantes todavía no observados? **¡No está garantizado que exista tal uniformidad!** No existe uniformidad entre el color de los cisnes observados en Europa hasta el s. XVIII y el color de los cisnes negros australianos.
- **Posible solución:** Es razonable recurrir al razonamiento inductivo porque en el pasado normalmente ha sido exitoso (en general nos ha conducido a conclusiones verdaderas).
- **Problema (D. Hume): Esta justificación parece circular** (= justificación que presupone o se apoya en la aceptabilidad o validez de aquello que pretende justificar), pues se apoya en un razonamiento inductivo. Se está presuponiendo que, puesto que la inducción fue normalmente exitosa en el pasado, lo seguirá siendo en el futuro (es decir, se presupone uniformidad entre el pasado y el futuro). Pero, precisamente, lo que estábamos intentando justificar es esta presuposición.

### *5.3. Confirmación vs refutación*

#### ¿Podemos confirmar hipótesis empíricas generales?

- **Problema de la inducción:** Aunque una generalización universal empírica (“Todos los cisnes son blancos”) se muestre acorde con numerosos casos particulares observados, siempre existe la posibilidad de que aparezca un contraejemplo que invalide la generalización (un cisne negro).
- Por tanto, una hipótesis general empírica **no** puede ser confirmada definitivamente mediante razonamientos inductivos a partir de observaciones particulares (K. Popper).
- La observación de casos particulares tan solo permite **refutar** hipótesis generales. Una hipótesis general queda refutada/falsada por la observación de un solo contraejemplo (la observación de un único cisne negro basta para refutar la generalización “Todos los cisnes son blancos”).

#### Refutación vs confirmación

- **Falsacionismo (K. Popper):** La función principal de la observación en la ciencia es refutar hipótesis, no confirmarlas. Según el falsacionismo, los científicos nunca podrían juzgar que una hipótesis está confirmada, sino tan solo que **no ha sido de momento refutada** por la evidencia disponible. El razonamiento inductivo confirmatorio **no** desempeñaría un papel importante en la ciencia.

- **Problema:** Los científicos parecen considerar que ciertas hipótesis han sido confirmadas empíricamente, o al menos que su grado de confirmación es mayor que el de hipótesis alternativas. ¿Hemos de rechazar esta visión intuitiva de la ciencia? Si rechazamos totalmente la inducción, el mero hecho de que una hipótesis general todavía no haya sido refutada no debería incrementar nuestra **confianza** en que será compatible con observaciones futuras. No obstante, en la práctica científica se asume que muchas generalizaciones están confirmadas (e.g. al construir un puente se asume que la teoría de la gravedad está confirmada). ¿Tiene justificación nuestra confianza en estas generalizaciones?

### Escepticismo inductivo

- **Escepticismo inductivo** (D. Hume): No existe justificación para concluir que una serie de observaciones de casos particulares confirma una generalización empírica que va más allá de tales casos.
- Nuestra tendencia a aceptar generalizaciones a partir de la observación de casos particulares es un mero hábito psicológico, una **inclinación mental** que carece de base racional. Solo por la **fuerza del hábito y la costumbre** presuponemos que existirá uniformidad y regularidad en el universo: no existe justificación racional para tal presuposición. Por tanto, no hay justificación racional para juzgar que una hipótesis general ha sido confirmada por la observación de casos particulares, ni siquiera para incrementar nuestra confianza en una hipótesis general respaldada por numerosas observaciones.
- **Problema:** ¿Es la ciencia una actividad en última instancia no racional, apoyada simplemente en el hábito y la costumbre, y basada en presuposiciones para las que no hay justificación? ¿No es racional confiar en las leyes generales de la física al construir un puente?

### Antiescepticismo inductivo

- **Postura antiescéptica:** No es necesario ofrecer justificaciones explícitas para todas las presuposiciones que subyacen a la investigación científica. Si estas presuposiciones de hecho se cumplen, la investigación científica puede seguir adelante.

*Ejemplo: La investigación científica puede proseguir su curso sin tener que justificar explícitamente que no estamos en Matrix o que existe el mundo externo.*

- Si el universo es de hecho suficientemente uniforme y regular, entonces el razonamiento inductivo será, en general, **fiable** y llevará a conclusiones justificadas. Cuando no haya razones para dudar de que existirá suficiente uniformidad/regularidad en el fenómeno estudiado, podemos presuponer tal uniformidad y aplicar consecuentemente razonamientos inductivos de manera racional.
- **El uso de razonamientos inductivos en ciencia será revisable y falible:** si surgen dudas acerca de la uniformidad/regularidad del fenómeno concreto investigado, se deberán revisar las inferencias inductivas realizadas en nuestra investigación (e.g. si descubrimos que el fenómeno estudiado es heterogéneo, no podremos realizar generalizaciones inductivas a partir de observaciones de muestras parciales y poco representativas).

## 6. Probabilidad y estadística

### 6.1. Incertidumbre y probabilidad

#### Ciencia e incertidumbre

- **La evidencia empírica disponible es en muchos casos parcial o limitada, y no elimina completamente la incertidumbre** sobre el fenómeno investigado. Si la evidencia es limitada, puede ser compatible con varias hipótesis alternativas.

*Ejemplo: Imaginemos que la única evidencia disponible sobre un crimen es que el asesino es un hombre. Esta evidencia permitirá descartar los sospechosos que son mujeres, pero no determinar quién es el asesino entre los sospechosos hombres. Hasta que aparezca nueva evidencia, seguirá existiendo incertidumbre acerca de quién es el culpable.*

- Debido a que la investigación científica con frecuencia se desarrolla en condiciones de incertidumbre, **no siempre será posible ofrecer respuestas concluyentes y firmes** a las preguntas planteadas. En muchos casos, los científicos no podrán proponer tesis de aplicación universal, sino tan solo **respuestas parciales, tentativas, imprecisas o probabilísticas**, que reflejen la incertidumbre de los investigadores.

No obstante, existen **métodos para controlar, acotar y delimitar de manera rigurosa la incertidumbre de los resultados científicos**.

### Probabilidad e incertidumbre

- **La incertidumbre acerca de un evento puede representarse en términos de probabilidad.**
- La probabilidad que un sujeto asigna a un evento indica su **grado de confianza** acerca de si dicho evento tendrá lugar. Un sujeto que tenga gran confianza en que lloverá mañana, asignará una alta probabilidad a que lloverá mañana.
- El grado de probabilidad asignado a un evento suele expresarse en una **escala de 0 a 1**, donde 1 corresponde a máxima confianza (el sujeto está seguro de que el evento sucederá) y 0 corresponde al mínimo grado de confianza (está seguro de que no sucederá). Una probabilidad de 0.5 indica que el sujeto considera igualmente probable tanto que el evento suceda como que no suceda. La probabilidad puede expresarse **de manera equivalente como un porcentaje**, siendo 100% la máxima probabilidad.

*Ejemplo: La probabilidad de ganar la lotería (comprando un único boleto) es cercana a 0 (0%), mientras que la probabilidad de perder es cercana a 1 (100%).*

- Existen técnicas matemáticas para operar de manera precisa y rigurosa con asignaciones de probabilidad (Teoría de la probabilidad).

### Ciencia probabilística

- **Los resultados científicos se presentan frecuentemente de manera probabilística.** En muchas ocasiones, la evidencia disponible no justifica aceptar de manera concluyente una hipótesis (porque hay hipótesis alternativas compatibles con la evidencia), sino solo asignarle un cierto grado de probabilidad.
- La probabilidad asignada a una hipótesis, o a una predicción científica (que también, en muchos casos, como en los pronósticos meteorológicos, son probabilísticas), debe reflejar el grado de apoyo que la evidencia disponible ofrece a tal hipótesis o predicción.

*Ejemplo: Si estamos en una región lluviosa, observamos nubes densas y estamos en una época del año en que las lluvias son frecuentes, la evidencia disponible justifica asignar un alto grado de probabilidad a la posibilidad de que llueva en las próximas horas (aunque no podamos descartar completamente la posibilidad de que no llueva).*

- La necesidad de acudir a teorías científicas de carácter probabilístico se dará **independientemente** de si el mundo está gobernado por leyes deterministas o si por el contrario la realidad es en última instancia azarosa e indeterminista: nos veremos obligados a usar probabilidades en las investigaciones científicas que se realicen en condiciones de incertidumbre y con evidencia incompleta o limitada.
- Aunque una **predicción probabilística** no elimine completamente la incertidumbre, puede proporcionar una **guía útil para la toma de decisiones** (en política, economía, medicina, ingeniería...).

*Ejemplo: Disponer de información fiable sobre el riesgo de que un volcán entre en erupción (es decir, la probabilidad de que se produzca una erupción) permitirá tomar medidas adecuadas para proteger a las poblaciones cercanas.*

### Márgenes de error

- Entre las fuentes de incertidumbre en los resultados científicos, se encuentran los posibles **errores e imprecisiones** en las observaciones, medidas y métodos de investigación empleados.

*Ejemplo: Los instrumentos de medida tienen una precisión limitada. Si utilizamos un reloj con minutero, pero sin segundero, no podremos determinar la hora con precisión de segundos o décimas de segundo.*

- Al presentar resultados científicos es fundamental señalar claramente cómo de imprecisos son. Existen distintas formas de reflejar **la imprecisión de un resultado científico**: una opción estándar es especificando márgenes de error (por ejemplo, mediante barras de error). **Los márgenes de error** de una medida o predicción de cierta variable **indican el intervalo de valores** dentro de los cuáles se estima que se encontrará dicha variable.

*Ejemplos: Un cinemómetro que mide la velocidad de un automóvil como  $100 \pm 5$  km/h. Una predicción según la cual el incremento de la temperatura global en los próximos 100 años estará entre  $1.8^{\circ}\text{C}$  y  $4^{\circ}\text{C}$ .*

## 6.2. Evidencia estadística

### Estadística

- La evidencia científica suele presentarse de forma estadística.
- La evidencia científica habitualmente consiste en grandes colecciones de **datos** acerca de un objeto de estudio (e.g., el conjunto de resultados experimentales obtenidos en una investigación). Para poder extraer conclusiones relevantes a partir de un conjunto de datos empíricos, es necesario recurrir a métodos de **análisis estadístico**.

*Ejemplos: Un experimento de física subatómica en el CERN puede involucrar miles de observaciones, generando gran cantidad de datos que deben ser procesados estadísticamente. Los estudios epidemiológicos estándar tienen muestras de cientos de individuos. **Big data/data mining** (grandes conjuntos de datos analizados estadísticamente por ordenador)*

- **Estadística descriptiva**: Se busca describir las propiedades de un conjunto de datos.

*Ejemplo: A partir de datos sobre la altura de cada estudiante en una clase, se calcula la frecuencia de cada medida, la altura media de la clase, la altura mediana o la dispersión de las alturas de los estudiantes.*

- **Estadística inferencial**: Tomando como evidencia datos sobre **parte de una población** o una serie de casos (**muestra** = conjunto de casos/individuos sobre los que se tiene datos), se busca realizar **inferencias (inductivas)** acerca de las propiedades de la **población en su conjunto**, o propiedades generales del tipo de fenómeno ejemplificado por los casos (es decir, inferencias cuyas conclusiones sean aplicables más allá de los casos sobre los que se tiene datos).

*Ejemplo: Se realiza una encuesta sobre intención de voto entre parte de la población de un país para realizar estimaciones acerca del resultado de unas elecciones.*

- La evidencia estadística recopilada en una investigación científica no siempre permite extraer conclusiones absolutas o correlaciones perfectas (que se den en cada caso). En muchas ocasiones solo se podrán inferir **patrones/tendencias/correlaciones probabilísticos** (más o menos marcadas) a partir de los datos empíricos disponibles. **La evidencia estadística sirve de base para alcanzar conclusiones de naturaleza probabilística.**

*Ejemplo: Aunque no toda persona con una dieta alta en sal acabe siendo hipertensa, la evidencia estadística disponible permite concluir que es más probable desarrollar hipertensión si se sigue dicha dieta.*

### ¿Qué es una correlación estadística?

- **Correlación estadística**: Existe una **correlación estadística entre dos variables** cuando, analizando estadísticamente un conjunto de datos, se observa una **relación o dependencia** entre los valores de las dos variables (por ejemplo, los valores de una aumentan cuando lo hacen los valores de la otra).

*Ejemplos: La altura de los padres está estadísticamente correlacionada con la altura de sus hijos: los hijos de padres altos tienden a ser más altos que los hijos de padres bajos.*

- Es útil conocer la existencia de correlaciones entre variables porque permite predecir el valor de una variable sabiendo el valor de la otra (por ejemplo, si sabemos que unos padres son muy altos, podremos predecir que sus hijos probablemente también serán altos).
- Un resultado extraído a partir de un conjunto de datos (e.g. una correlación) se dice que es **estadísticamente significativo** si es suficientemente improbable que dicho resultado sea debido al azar (e.g. una correlación fruto de una coincidencia casual en los casos observados).
- Cuando la muestra es muy pequeña, es más fácil que se den correlaciones debidas al azar. Para obtener resultados estadísticamente significativos hay que analizar **muestras suficientemente grandes y representativas**.

*Ejemplo: Si se observan solo las últimas 4 jugadas de una ruleta (no defectuosa), no es demasiado improbable que, por azar, todos los números ganadores sean pares ( $\approx 6\%$ ). No obstante, la conclusión de que en esa ruleta los números ganadores son en general pares no representará adecuadamente su funcionamiento normal. Con una muestra más amplia, lo normal es que haya un número similar de ganadores pares e impares (si la ruleta es imparcial y no tiene grandes defectos).*

### Sesgos estadísticos

- Al analizar estadísticamente un conjunto de datos, es importante asegurarse de que las conclusiones extraídas (e.g. que existe cierta correlación entre dos variables) reflejan correlaciones y tendencias **realmente presentes** y no se deben a distorsiones introducidas por deficiencias en los métodos de análisis empleados o en la recolección de datos (es decir, distorsiones debidas a **sesgos estadísticos**).
- La muestra de datos usada como evidencia ha de ser representativa de la población/fenómeno que se quiere estudiar. Una muestra sesgada (**sesgo de selección**) puede introducir correlaciones aparentes que no se dan realmente.

*Ejemplo: si queremos estudiar las preferencias de voto en España, la muestra que utilicemos para hacer el análisis estadístico ha de ser representativa de la población en general (no puede incluir solo hombres, o solo personas mayores de 60 años). Si tomamos como muestra solo personas mayores de 60 años, obtendremos resultados sesgados (los jóvenes no votan exactamente igual que los mayores de 60 años).*

- Existen técnicas para minimizar la presencia de sesgos, por ejemplo, **escoger la muestra de manera aleatoria** entre toda la población (para así evitar que se concentre en un sector particular de esta), o utilizar **muestras amplias**.

### Correlaciones y causas

- La existencia de correlaciones estadísticas entre dos variables **no siempre implica una relación causa-efecto entre ambas** (es decir, no implica que los cambios en la primera variable sean la causa que explica los cambios en la segunda). **¡Correlación  $\neq$  Causación!**

*Ejemplo: Imaginemos que encontramos una correlación estadística entre vivir en ciertos barrios y poseer más de un coche. Esta correlación no nos permite inferir directamente que vivir en dichos barrios ejerza una influencia causal sobre el número de coches que se posee. Por ejemplo, puede que lo que explique tanto que se viva en esos barrios como que se posean varios coches sea tener un nivel de renta elevado. El alto nivel de renta sería causa tanto de vivir en barrios caros como de tener varios coches.*

- Para analizar posibles relaciones causales entre dos variables  $x$  e  $y$ , habrá que intentar examinar cómo se correlacionan dichas variables **controlando** la posible influencia de otras variables  $z$ : habrá que investigar si la correlación entre cambios en  $x$  y cambios en  $y$  es independiente de variaciones en  $z$ , es decir, si la correlación persiste cuando  $z$  se mantiene constante.

*Ejemplo: Para ver si la correlación entre vivir en ciertos barrios y poseer varios coches es independiente del nivel de renta, habrá que analizar si sigue existiendo dicha correlación cuando controlamos el nivel de renta (es decir, cuando consideramos datos sobre personas que vivan en distintos barrios, pero tengan un mismo nivel de renta).*

## 7. El uso de modelos en ciencia

### 7.1. ¿Qué es un modelo científico?

- Un **modelo científico** es un recurso explicativo que sirve para abordar fenómenos especialmente complejos o sobre los que no tenemos un conocimiento directo completo. Frecuentemente, se entiende que un modelo *representa* un fenómeno o un conjunto de fenómenos que se pretende explicar.

*Ejemplo: el modelo abstracto matemático de Lotka-Volterra de competencia entre especies en un mismo nicho ecológico.*

- Son especialmente utilizados en **ciencias biológicas y sociales**. En ciencias como la Física o la Química, lo habitual es explicar apelando a la noción de ley (modelo **nomológico-deductivo**). En biología, medicina o ciencias sociales, los fenómenos estudiados no parecen ajustarse bien a este modelo de “cobertura legal”.
- ¿Significa esto que hay tipos distintos de explicación científica para las ciencias “fuertes” y para las “blandas”? Solo hasta cierto punto. Aunque no tantas como en física o química, también se usan leyes en las ciencias biológicas y sociales (y en todo caso las leyes físico-químicas siguen aplicándose en todos los ámbitos). Además, también hay modelos en las ciencias “duras”, como el modelo atómico de Rutherford.
- Los modelos se utilizan por varias razones. Una de ellas es que los sistemas abordados son tan **complejos** (p.ej., los estados psicológicos o las sociedades humanas) que no resulta práctico explicarlos basándonos en leyes básicas; otra las **cuestiones éticas**, que imponen en ocasiones investigar sobre modelos y no sobre los fenómenos mismos (p.ej., los modelos animales en biomedicina).
- Los modelos son **idealizaciones**, es decir, solamente funcionan bajo ciertas restricciones e idealizando las circunstancias en las que ocurren.

*Ejemplo: el modelo de Lotka-Volterra “ignora” muchos aspectos ecológicos que influyen en la distribución poblacional de presas y depredadores, y el ratón de laboratorio es un buen modelo para comprender la biología humana solamente en aquellos aspectos en los que estos dos organismos pueden considerarse análogos.*

- Los modelos son **explicativos** en ciencia porque ofrecen una explicación acerca del funcionamiento real de los fenómenos investigados. Esto permite abordar los mecanismos subyacentes y predecir posibles estados futuros de un sistema.

*Ejemplo: el modelo matemático de Lotka-Volterra aplicado a un caso concreto permitirá predecir la ratio entre depredadores y presas a lo largo del tiempo.*

Condiciones para que un modelo sea **explicativo**:

1. Las analogías entre el modelo y el sistema modelizado (“sistema-diana”) están bien fundadas: no se basan en supuestos no científicos o en mecanismos que no están presentes en el sistema-diana.
2. El modelo no es excesivamente simple y no deja fuera factores relevantes para comprender el funcionamiento del sistema-diana.
3. Es capaz de predecir con éxito estados futuros del sistema-diana.
4. También se valora que el modelo sea manejable e incluso atractivo estéticamente.

En resumen, los modelos son **aproximaciones (necesariamente simplificadas) que sirven para recrear los fenómenos que queremos explicar y sacar conclusiones sobre ellos**. Existe una variedad enorme de modelos: computacionales, modelos en laboratorio (*in vivo*, *in vitro*), investigación traslacional con animales, etc.

### 7.2. Tipos de modelos

- *Modelos físicos*: maquetas o prototipos que representan, a escala más manejable, los sistemas-diana que queremos explicar
- *Modelos matemáticos*: a través de una formulación matemática buscan capturar las dinámicas de los sistemas-diana. Pueden ser deterministas o probabilísticos. Ej: modelos epidemiológicos, modelos de predicción meteorológica, etc.
- *Modelos conceptuales*: mapas abstractos en que se señalan diferentes conceptos y la relación entre ellos. Suponen un nivel muy alto de abstracción y suelen tomarse como base para construir los otros modelos.
- Todos estos modelos tienen valor explicativo si están bien planteados (condiciones indicadas más arriba) y son compatibles entre sí. De hecho, diferentes modelos se pueden expresar tanto en formatos físicos como matemáticos o conceptuales.

### 7.3. Límites del uso de modelos. ¿Realismo o instrumentalismo?

“Todos los modelos son incorrectos, pero algunos son útiles” (George Box)

Los modelos son aproximaciones a la realidad que implican necesariamente **una simplificación y una idealización**. Los modelos científicos deben encontrar el nivel de abstracción e idealización en el que resultan, al mismo tiempo, manejables y explicativos. Es importante diferenciar entre “utilidad del modelo” y “representación de la realidad”.

*Infradeterminación de las teorías por los datos*: en ocasiones, los mismos datos pueden ser explicados por modelos incompatibles.

#### Verdad vs utilidad

Muchos modelos erróneos (o reconocidamente “infieles” con la realidad) son muy útiles en ciencia.

Recordar el **Prefacio de Osiander** al “De revolutionibus” de Copérnico (1543): “salvar los fenómenos” (el contenido del libro no es más que una hipótesis matemática útil para calcular los movimientos celestes).

- Históricamente, ha habido modelos (como el de la cosmología ptolemaica) que han sido muy útiles para predecir fenómenos, aun cuando después se hayan mostrado falsos.
- Hay también otro tipo de modelos “falsos” que son muy útiles. Se trata de representaciones de sistemas inexistentes imaginados cuya función es explicar aspectos de sistemas que sí existen: se denominan *modelos contrastantes* (ver Diéguez 2017).

*Ejemplo: L. D. Hurst propuso en 1996 un modelo para explicar por qué normalmente sólo hay dos sexos en las especies biológicas. Se trata de un modelo matemático para una población de organismos en la que hay tres tipos sexuales. El modelo muestra, entre otras cosas, que esta población y otras poblaciones de este evolucionan necesariamente hacia dos tipos sexuales. Esto explicaría porque los organismos con fusión de gametos y más de dos sexos han de ser raros en la naturaleza.*

- Los modelos son herramientas científicas que permiten no solo explicar **cómo funciona el mundo**, sino **cómo podría haber funcionado en otras circunstancias** (qué cosas podrían haber pasado y cuáles no).
- Un modelo es, ante todo, una herramienta para explicar la realidad, pero no debemos olvidar que **no** es un fiel reflejo de esta realidad que modeliza.

## 8. Paradigmas y cambio científico

### 8.1. El giro kuhniano

## Thomas Kuhn (1922-1996)

- Giro sociológico de la filosofía de la ciencia.
- Libro *The Structure of Scientific Revolutions* (1962).
- Para comprender bien la ciencia debe tenerse en cuenta el entramado teórico en el que tiene lugar la actividad científica. La ciencia es una **práctica social institucionalizada**. Kuhn propone observar la historia de la ciencia para comprender cómo funciona realmente.

## Noción de paradigma

- Dos sentidos de paradigma:
  1. Caso ejemplar o modélico de algo: “Newton es el paradigma de científico de la modernidad” o “Lamarck utiliza el ejemplo de la evolución del cuello de las jirafas como caso paradigmático para su teoría”.
  2. Conjunto de supuestos teóricos generales, regulaciones y técnicas que adoptan los miembros de una determinada comunidad científica.
- Kuhn utiliza el segundo sentido de “paradigma”, que luego denominará “matriz disciplinar”.
- Los científicos se forman y desarrollan su actividad en el marco de un paradigma: mecánica newtoniana, óptica ondulatoria, química analítica, biología evolutiva, etc. Los científicos que trabajan dentro de un paradigma hacen lo que Kuhn denomina **ciencia normal**.
- **Ciencia normal**: “actividad de resolver problemas según las reglas de un paradigma”.
- Para Kuhn, la diferencia entre la ciencia y la “preciencia” es que en la ciencia hay un paradigma compartido que respalda una tradición y sobre el que hay un acuerdo general. En situación de preciencia hay desacuerdos incluso en lo fundamental.
- El conocimiento que se transmite dentro de un paradigma es muy frecuentemente tácito y se recibe de forma en principio acrítica. Un científico vive en y para su paradigma, no puede escapar de él (aunque sea capaz de ver y explicar sus fundamentos).

## *8.2. Paradigmas, inconmensurabilidad y revolución*

- La ciencia normal se ejerce en el marco del paradigma, el cual no se pone habitualmente en cuestión. Cuando hay evidencias en contra del paradigma, lo habitual no es renunciar a él, sino considerarlas **anomalías** (de mayor o menor importancia). Ha de darse un cúmulo de circunstancias muy complejo para que un paradigma entre en crisis y para que las anomalías hagan a los científicos cuestionarse los fundamentos de su actividad.
- Sin embargo, la ciencia cambia y los paradigmas se han ido sustituyendo a lo largo de la historia de la ciencia (por ejemplo, el paso de la astronomía aristotélica a la copernicana). Kuhn defendió que **el progreso científico consiste en un cambio de paradigma** de la comunidad científica que se da **de forma revolucionaria**.

*Ejemplo: la química anterior a Lavoisier afirmaba que existía una sustancia denominada flogisto que se desprendía de las materias al arder. El paradigma de Lavoisier negaba la existencia del flogisto y postulaba que había otra sustancia, el oxígeno, que explicaba los procesos de combustión.*

- La existencia de paradigmas rivales es necesaria para provocar la crisis en el paradigma predominante. Cuando un paradigma entra en crisis y un paradigma rival se convierte en el más importante entre los



científicos, nos encontramos ante una **revolución científica**. Las revoluciones científicas son producto de la lucha entre paradigmas rivales. No son el simple resultado del fracaso o agotamiento del paradigma previo.

- Para Kuhn, los científicos que trabajan en paradigmas diferentes “viven en mundos distintos”. Un nuevo paradigma supone una forma diferente de observar e interpretar el mundo (un cambio de *Gestalt*). Los partidarios de paradigmas rivales defienden distintos conjuntos de normas, fundamentos teóricos, principios metafísicos, etc. Kuhn defiende que los paradigmas son **incommensurables**: lo que defienden paradigmas rivales es incompatible entre sí.

### 8.3. Progreso científico como cambio de paradigma

- El cambio de paradigma (la revolución científica) es un proceso similar a un cambio revolucionario político o cultural. Los defensores de una nueva forma de ver el mundo se imponen sobre los defensores de la forma tradicional, en última instancia a través de la nueva generación de científicos.
- Lo importante del cambio científico es que un paradigma entra en crisis y un paradigma rival consigue más adeptos que el anterior, independientemente de si este nuevo paradigma es “mejor” epistémicamente o no. En realidad, no hay paradigmas superiores a otros, no hay progreso acumulativo.
- El trabajo de los filósofos de la ciencia debe ser analizar las condiciones contextuales sociales e históricas que explican la actividad científica de cada momento (por qué un paradigma tiene más partidarios que otro).

Esquema del proceso que plantea Kuhn:

ciencia - primer paradigma - ciencia normal - crisis – revolución y paradigma nuevo - nueva ciencia normal - nueva crisis - nueva revolución...

#### Paul Feyerabend (1924-1994)

- Libro *Against Method: Outline of an Anarchistic Theory of Knowledge* (1975)
- Anarquismo epistemológico.
- Principio del “todo vale”. Lleva al límite el giro sociológico de Kuhn. No hay razones objetivas para determinar cuál es la forma correcta de hacer ciencia. Todas son igualmente válidas.
- Relativismo cultural. Lo que asumimos como conocimiento bueno o malo depende de nuestros conceptos culturales. Lo construimos con nuestros valores.

#### Preguntas que pueden surgir con este tipo de teorías:

- ¿No hay paradigmas “objetivamente” más válidos científicamente que otros?
- ¿No es el “obtener un mejor conocimiento objetivo” un motivo por el que cambian los paradigmas?
- ¿Todo cambio en ciencia es siempre dependiente (en un sentido fuerte) del contexto social?

# Bloque III: La ciencia y sus enemigos. El criterio de demarcación

## 9. La demarcación

Una cuestión central en filosofía es la de la **demarcación** de la ciencia: ¿cuál es la frontera entre lo científico y lo no científico? ¿Y entre la ciencia “auténtica” y la pseudociencia?

### 9. 1. Concepciones heredadas

#### Positivismo y empirismo (Comte, Bacon)

- Solo la observación y la experiencia puede dar información acerca del mundo.
- El objetivo del conocimiento es descubrir las causas naturales y las leyes que están detrás de los fenómenos observados.
- El saber que aporta conocimiento empírico y un método para descubrir causas y leyes es la ciencia (en concreto, las ciencias naturales, que son el modelo de las demás).

#### En el siglo XX: Neopositivismo (Círculo de Viena)

- Doctrinas del empirismo lógico, positivismo lógico, neopositivismo....
- Empirismo, postura antimetafísica, defensa de la unidad de las ciencias.

Para la concepción heredada del positivismo y el neopositivismo, el criterio de demarcación de lo científico sería la **verificabilidad**. La ciencia se caracteriza por utilizar enunciados que han sido objeto de comprobación. Lo que caracteriza a las teorías científicas es que los hechos observados las corroboran: han sido demostradas como verdaderas.

El verificacionismo sigue por tanto una estrategia **inductivista** y se ve por tanto afectado por los **problemas de la inducción** ya comentados.

**Carnap** (autor del Círculo de Viena) propuso una postura verificacionista más flexible, el **confirmacionismo**, según el cual no es necesario que los hechos empíricos observados confirmen de forma concluyente un postulado científico, sino que es posible considerar diferentes “grados de confirmación” sobre una base probabilística.

### 9.2. Falsabilidad

#### Karl R. Popper (1902-1994)

- Crítico con el Círculo de Viena

- Libro *Logik der Forschung*, 1934 (*La lógica de la investigación científica*).

Para Karl Popper, el criterio de demarcación de lo científico es la **falsabilidad**.

Una teoría es científica si es susceptible de ser demostrada como falsa en algún momento. La pseudociencia y los discursos no científicos se caracterizan por no poder ser nunca falsados (ejs: la existencia de Dios, la influencia de los astros en nuestra fortuna, etc.), pues siempre pueden proteger sus enunciados.

Afirmaciones científicas: <ul style="list-style-type: none"><li>• “En nuestro sistema solar, todos los planetas se mueven alrededor del Sol”.</li><li>• “Todas las especies biológicas tienen un ancestro evolutivo común”.</li></ul>	Afirmaciones no científicas: <ul style="list-style-type: none"><li>• “Los hechos del mundo responden en último término a una voluntad supranatural”.</li><li>• “La posición de los astros determina nuestra fortuna en la vida”.</li></ul>
---	--

### Imre Lakatos (1922-1974)

- Falsacionismo sofisticado
- Las teorías y postulados científicos no se pueden considerar aisladamente, forman parte de **programas de investigación** (la falsación de una parte no implica siempre la del todo).
- Un programa de investigación es científico si es **progresivo teórica y empíricamente**: además de explicar los hechos ya conocidos, predice hechos nuevos y es capaz de explicarlos. Se valora por su utilidad. Un programa de investigación no progresivo no es un buen programa científico.

### *9.3. Enfoques relativistas y constructivistas*

#### Thomas Kuhn

Desde una perspectiva propia del **giro social de la filosofía de la ciencia** (como la defendida por Kuhn o Feyerabend), ciencia es simplemente lo que los científicos hacen dentro de los límites metodológicos y conceptuales en los que ejercen su profesión, límites que quedan determinados por cuestiones sociológicas (no solo por consideraciones epistémicas).

Desde este enfoque, el criterio de demarcación depende de **los valores y las creencias contingentes de los científicos** que conforman un paradigma concreto. Se rompe la distinción entre hechos y valores.

#### Paul Feyerabend

Se rompe la idea de jerarquía de conocimientos. Hay muchas formas de acercarse al mundo, entre ellas la científica, no necesariamente superior.

### *9. 4. ¿Por qué es importante el criterio de demarcación?*

Estos tres criterios de demarcación (verificabilidad, falsabilidad y correspondencia con los valores y creencias de la comunidad científica) son instrumentos para dibujar las fronteras de lo científico. Cada uno tiene sus ventajas y sus inconvenientes.

El problema de la demarcación entre ciencia y no-ciencia es esencial por razones teóricas y prácticas.

Como cuestión teórica

- Es un problema central en filosofía de la ciencia, pues se refiere directamente a la caracterización misma que lo científico.

Como cuestión práctica

- Tiene importantes implicaciones sociales. Dado que la ciencia es nuestra fuente de conocimiento más fiable en una amplia variedad de áreas, necesitamos distinguir el conocimiento científico genuino.
- Debido al alto estatus de la ciencia en la sociedad actual, los intentos de exagerar el carácter científico de diversas afirmaciones, enseñanzas y productos son lo suficientemente comunes como para que el tema de la demarcación resulte apremiante en muchas áreas, como la medicina, la educación, la política científica o la divulgación del conocimiento.

#### Tres distinciones:

1. Científico vs no-científico (discursos que son **ajenos al discurso científico**, como el religioso, moral, artístico...).

2. Científico vs pseudocientífico (discursos que **no son científicos, pero se hacen pasar por tales**, como el de las medicinas alternativas).
3. Científico vs anticientífico (discursos que van **contra el discurso científico**, como el de muchos terraplanistas).

No obstante, muchas veces se presentan mezclados. En ocasiones los postulados científicos se enfrentan a prejuicios culturales muy influyentes y firmemente asentados. Ejs: Galileo, Copérnico, Darwin.

## 10. Ciencia vs no ciencia: el creacionismo

El creacionismo es la creencia de origen religioso de que el universo y la vida surgieron "a partir de actos específicos de la creación divina", no a través de procesos naturales como la evolución.

En nuestro contexto cultural, el creacionismo está muy vinculado a los relatos bíblicos (un diseñador con un propósito consciente). Puede considerarse una teoría precientífica, aunque en su momento fue indiscutible, hasta el punto de considerarse que el orden natural, con sus diseños complejos, demostraba la existencia de Dios (W. Paley, comparación del reloj y el relojero).

En la actualidad, la gran mayoría de las posturas religiosas abogan por una convivencia entre los discursos científicos y religiosos, que son distintos. No tratan los mismos problemas ni compiten entre ellos. Teoría MANS (*magisterios que no se superponen*) de Stephen Jay Gould.

Sin embargo, la postura creacionista actual, el **Diseño Inteligente**, intenta solaparse con el pensamiento científico, por lo que sería más bien pseudociencia.

Los defensores de la teoría del Diseño Inteligente afirman que ciertas características del universo y de los seres vivos solo pueden explicarse apelando a una causa inteligente, y no por un proceso no dirigido como la selección natural. El Diseño Inteligente tiene como estrategia rellenar con referencias a la voluntad divina los huecos que deja aún la explicación evolutiva.

¿Es el Diseño Inteligente una teoría científica? La mayoría de los biólogos consideran que no supera ningún criterio de demarcación. No puede ser confirmada, obviamente, tampoco falsada (siempre se encuentra otro hueco que rellenar), y tampoco corresponde al paradigma, pues los biólogos que hacen ciencia normal no la asumen.

Importa saber esto, porque influye en si debe enseñarse en las escuelas y tener estatus de propuesta científica.

En un juicio famoso, *Kitzmiller v. Dover Area School District. 2005*, el juez Jones indicó:

"Sin duda, la teoría de la evolución de Darwin es imperfecta. Sin embargo, el hecho de que una teoría científica todavía no pueda dar una explicación sobre cada punto no debe ser usado como pretexto para llevar al aula de ciencias una hipótesis alternativa no comprobable basada en la religión o para tergiversar proposiciones científicas bien establecidas".

## 11. Ciencia vs pseudociencia: medicinas alternativas

La pseudociencia es no-ciencia haciéndose pasar por ciencia, muchas veces, con intención de **aprovechar el crédito social de la ciencia**.

Ejemplo: Pseudociencia y medicina

La medicina desarrolla y evalúa los tratamientos de acuerdo con la evidencia de su efectividad. Las actividades pseudocientíficas en este ámbito dan lugar a intervenciones ineficaces y a veces peligrosas. Los proveedores de atención médica, las aseguradoras, las autoridades gubernamentales y, lo que es más importante, los pacientes necesitan orientación sobre cómo distinguir entre la ciencia médica y la pseudociencia médica.

“Medicinas alternativas” como la homeopatía, acupuntura, osteopatía, etc., ¿pueden superar el criterio de demarcación científico?

La **homeopatía** fue propuesta por Samuel Hahnemann (1755-1843). No debe confundirse con la medicina natural. Tiene dos principios básicos: “Lo igual cura lo igual” y “Cuanto más diluido, más efectivo”.

Los remedios homeopáticos son disoluciones sucesivas de una sustancia que, se supone, causa los síntomas de la enfermedad (usan sustancias como óxido de arsénico o veneno de serpiente) que se pretende curar. La disolución se hace hasta el punto de que ya no queda ninguna molécula de la sustancia original en el compuesto, solo agua. Se supone que “la memoria del agua” retiene el poder curativo de la sustancia original. Si son pastillas, es azúcar.

El Consejo de Europa (1999) lo define como “método terapéutico que se basa en la ley de similitud o de los semejantes, la cual afirma que **una sustancia que provoca determinados síntomas en una persona sana**, en pequeñas cantidades, **es capaz de curar los mismos síntomas o semejantes** en una persona enferma” y no lo considera científico.

La homeopatía no se basa en principios con base en teorías científicas aceptadas. Además, los estudios y metaestudios demuestran continuamente que la efectividad de los medicamentos homeopáticos no es superior a la del placebo.

Los defensores de la homeopatía aseguran que “no se puede demostrar que no funcione” o que se tiene evidencia (aunque esta sea frecuentemente anecdótica o no demostrable) de que es efectiva.

Para los defensores de la homeopatía (y de otras terapias alternativas), la medicina “tradicional” no la admite porque no entra en su paradigma. Se les rechaza por motivos no epistemológicos, sino sociopolíticos.

¿Es la pseudomedicina verificable o falsable? En realidad, no cumple ningún criterio de demarcación.

¿Son compatibles el uso de la medicina oficial y las pseudomedicinas? Muchas veces se intenta hacerlas pasar por complementarias. El problema es que pueda interferir, en perjuicio del paciente, con el tratamiento médico oficial.

¿Por qué los defensores de las pseudomedicinas quieren hacer pasar sus creencias por científicas, por ejemplo, hablando de medicamentos o vendiéndolos en farmacias? Una vez más, por atribuirse el prestigio de la ciencia.

## 12. El discurso anticientífico: el terraplanismo

A veces, las teorías que no superan el criterio de demarcación (en este caso ni tienen interés en hacerlo) se basan en una sospecha y una **desconfianza hacia el discurso científico** y sus métodos.

El discurso científico se presenta como parte de un elaborado engaño hacia la población motivado por razones políticas o económicas. Los científicos no buscan la verdad o la objetividad, sino que siguen intereses egoístas y oscuros (o son ellos mismos también víctimas de un engaño por parte de otros). Algunos ejemplos: negación de que exista el cambio climático, movimiento antivacunas o negacionistas del cáncer o del sida. Se lleva al extremo el giro social kuhniano: los intereses de los científicos determinan sus afirmaciones.

Terraplanismo: la forma real de la Tierra es plana, no esférica (aunque la explicación no es unánime, hay variantes y en algunos casos puede ser pseudociencia más que anticiencia). Hay una conspiración de intereses para hacernos creer lo contrario.

Si la Teoría de la Tierra Plana ya ha sido falsada, ¿por qué hay personas (cada vez más) que la defienden? En realidad, es inmune al discurso científico, da igual las pruebas que se aporten, porque ninguna evidencia en contra será aceptada: la ciencia no ofrece un buen conocimiento. No se puede combatir desde la ciencia.

¿De dónde proviene esta desconfianza hacia la ciencia? ¿Se ha entendido mal “la dimensión social de la filosofía de la ciencia”? Parece como si el relativismo y el constructivismo hubieran derivado en esto. Los filósofos tendrían que explicar mejor que la ciencia puede estar ciertamente imbuida de valores, pero que no todos ellos son culturales, sociales, etc.