

Capítulo 1

Marco de referencia: Rol del laboratorio en el aprendizaje de las ciencias

“One thing I have learned in a long life: that all our science, measured against reality, is primitive and childlike and yet it is the most precious thing we have.” A. Einstein

Objetivos

¿Por qué las observaciones los experimentos son tan importantes en las ciencias? Intentar contestar esta pregunta nos obliga a indagar y reflexionar sobre la naturaleza del conocimiento científico. En este capítulo discutimos, brevemente, algunos aspectos básicos del método científico que se emplean en las ciencias fácticas, por ejemplo la Física, Química, Biología, etc. Un experimento no concluye hasta que se elabora un informe escrito del mismo, donde se analizan y discuten los resultados, en este capítulo destacamos su importancia y las características del los mismos.

Al ingresar a un laboratorio, o simplemente al realizar un experimento, es importante tener en cuenta ciertas normas y precauciones de seguridad que nunca deben de soslayarse.

- ✓ ¿Qué es la ciencia?
- ✓ ¿Por qué hacemos experimento?
- ✓ Ciencias formales y fácticas
- ✓ Falsacionismo
- ✓ Paradigmas
- ✓ Ciencia normal
- ✓ Revolución científica
- ✓ Informes científicos
- ✓ Seguridad en el laboratorio

¿Por qué hacemos experimentos?

En principio, podríamos decir que hacemos experimentos para descubrir nuevos fenómenos y poner a prueba nuestras teorías del mundo de modo de desarrollar un marco conceptual que nos permita comprender la naturaleza y usar este conocimiento para mejorar nuestra calidad de vida.^{1,2}

En este sentido, es importante diferenciar dos categorías de ciencias: las formales y las fácticas.³ Las **ciencias formales**, como la lógica o las matemáticas, no se ocupan de los hechos. Su objeto de estudio es autoreferencial. Por ejemplo, la matemática se ocupa del estudio de entes ideales, tales como el punto, la recta, el plano, los números, etc. independientemente de su similitud con la realidad. Los elementos que

emplea la matemática son objetos ideales. Las ciencias formales parten de axiomas que se aceptan a priori, a partir de los cuales se deducen consecuencias o teoremas, usando las reglas de la lógica.

Las **ciencias fácticas**, en cambio, se ocupan del estudio de objetos reales y externos a la ciencia misma. Ejemplos de ciencias fácticas son: la física, la química, la biología, la economía, la geología, la medicina, entre otras. Estas ciencias deben *inferir* los principios generales a partir de la observación y experimentación. En éstas, los *experimentos* juegan un rol fundamental ya que es a través de las observaciones y experimentos que aceptamos o descartamos las hipótesis y teorías. En cierto modo, es a través de las observaciones y experimentos que tratamos de inferir las leyes de la naturaleza. En modo similar que un observador, que no conoce las reglas del ajedrez, trata de descubrir las reglas de este juego, estudiando el modo en que jugadores avezados practican esta actividad.

La construcción de las ciencias se realiza a través de un proceso de ensayo y error. El método que usamos en las ciencias no está libre de crítica y objeciones. De hecho, la epistemología y la filosofía de la ciencia se ocupan de este interesante y arduo problema.

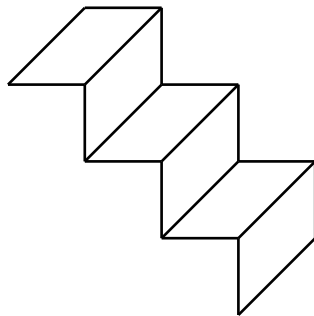
Hacia fines del siglo XIX y principios del siglo XX se desarrolló en Europa (principalmente Viena) una corriente de pensamiento que tuvo gran aceptación y difusión, conocida con el nombre de **positivismo**. Para los seguidores de esta corriente de pensamiento, el único conocimiento confiable y genuino es el científico. Para estos pensadores, sólo conducen a un conocimiento significativo y útil aquellos enunciados que son susceptibles de verificación empírica. En un modo simplificado, podríamos decir que esta concepción, parte de las premisas:

- ✓ la ciencia comienza con la observación
- ✓ la observación brinda una base segura para derivar el conocimiento

Sin embargo, muchos pensadores critican el estatus y el papel que desempeña la propia observación y objetan estas suposiciones. Se sabe que dos personas que observen el mismo objeto desde el mismo lugar y en las mismas circunstancias no tienen

necesariamente idénticas interpretaciones aunque las imágenes que observan sean casi idénticas (Figura 1.1). Lo que un observador “ve” depende en parte de su cultura (su experiencia, sus expectativas, sus conocimientos) y su situación general. Se suma a esto el hecho de que muchas veces las teorías preceden las observaciones, es decir, las observaciones y experimentos se realizan en el marco de alguna teoría. Por lo tanto, no es completamente cierto que la ciencia comience con la observación. Muy frecuentemente las observaciones se realizan a la luz de alguna teoría. Por ejemplo, varios de los experimentos que se realizan actualmente en el Large Hadron Collider (LHC) del CERN, están diseñados para poner a prueba teorías físicas existentes, es decir que en estos casos la teoría precede y guía el experimento. Entre los objetivos de este gran proyecto, LHC, está descubrir el “bosón de Higgs”, medir sus propiedades y explorar la física prevalente en los primeros instantes del universo. Ambos objetivos dependen de dos teorías importantes de estos días: el Modelo Estándar de las partículas elementales y la teoría del Big Bang.

a) ¿sube o baja?



b) ¿Qué ve en esta figura?

Figura 1.1 Las observaciones y percepciones no siempre son enteramente objetivas. a) Esta escalera, ¿Sube o baja? ¿Es una escalera vista de arriba o desde abajo? b)¿Qué vemos en esta figura? ¿un trompetista o una señorita?

Los positivistas modernos establecen una diferencia entre el modo de descubrir una teoría y el modo de justificación. Admiten que las teorías se pueden concebir de distintas maneras, por ejemplo, tras un momento de inspiración, accidentalmente o tras períodos de observaciones. Pero la validación es siempre empírica.

En la primera mitad del siglo XX, **Karl Popper** propuso un criterio de contrastación de teorías científicas que denominó **falsabilidad**. Para Popper las teorías científicas son hipótesis a partir de las cuales se pueden deducir enunciados comprobables

mediante la observación; si las observaciones experimentales no concuerdan con estos enunciados, la hipótesis es refutada. Si una hipótesis supera el esfuerzo de demostrar su falsedad, puede ser aceptada, en forma provisional. En esta concepción, ninguna teoría científica puede ser establecida de forma concluyente. En otras palabras, no es posible “probar” una teoría científica. Nunca sabemos si las observaciones que realizamos han sido suficientes, ya que la siguiente observación podría contradecir todas las precedentes. Así, por ejemplo, el enunciado; “todos los elefantes son grises” no puede probarse. Si nos proponemos someter a prueba experimental este enunciado, con solo detectar un elefante que no sea gris, la hipótesis quedaría descartada. Por otro lado, si después de observar n elefantes, resulta que todos son grises, esto no prueba que “todos” los elefantes lo sean. Nada impide que mañana o en un año nazca un elefante albino. Todo lo que podemos concluir de la observación “los n elefantes observados son grises” es que nuestras observaciones están de acuerdo con la hipótesis de partida, y por lo tanto la sostenemos transitoriamente, hasta tanto encontremos una anomalía. En este sentido, es importante reparar en este criterio cuando hacemos un experimento para ensayar una hipótesis y evitar aseveraciones como “esto prueba la hipótesis de partida”, una aseveración más prudente y adecuada consistiría en sostener: “nuestras observaciones están de acuerdo con la hipótesis propuesta”. En las ciencias fácticas debemos ser muy cuidadosos en recordar el carácter transitorio de nuestras teorías. La Figura 1.2 ilustra este proceder en forma esquemática.

Para Popper una teoría científica siempre debe ser formulada de modo que pueda ser susceptible de falsarse. Esto se conoce como *criterio de demarcación*. Por ejemplo un enunciado no falsable sería “mañana tal vez llueva”, ya que ningún resultado puede refutarlo. Por el contrario, el enunciado “la luz al pasar cerca del Sol se curva” es falsable. Basta realizar una observación, como la del movimiento aparente de las estrellas durante un eclipse, para ponerla a prueba.⁴ En ese sentido, para Popper, cuanto más “riesgosa” es una teoría, o sea cuando más formas tenemos de poner a prueba sus conclusiones, más “robusta” es ella. Para Popper, *la irrefutabilidad de una teoría científica no es una virtud sino un vicio, que la identifica como seudocientífica*. Según el falsacionismo, parecería que lo que sí sabemos hacer en las ciencias es descartar hipótesis. Sin embargo, aún esto no es del todo tan contundente y claro como parecería a primera vista. Pensemos por ejemplo en

las distintas hipótesis propuestas acerca de la naturaleza de la luz: modelo corpuscular u ondulatorio. Los experimentos de interferencia y difracción parecerían falsar el modelo corpuscular, sin embargo el efecto fotoeléctrico, en principio falsaría el modelo ondulatorio y reivindicaría el modelo corpuscular. La superación de esta aparente contradicción solo fue lograda con el desarrollo de la mecánica cuántica que elimina esta dicotomía en la naturaleza de la luz. También Popper plantea un modelo racional y objetivo de la evolución de las ciencias, en cierto modo desconectado del contexto social.

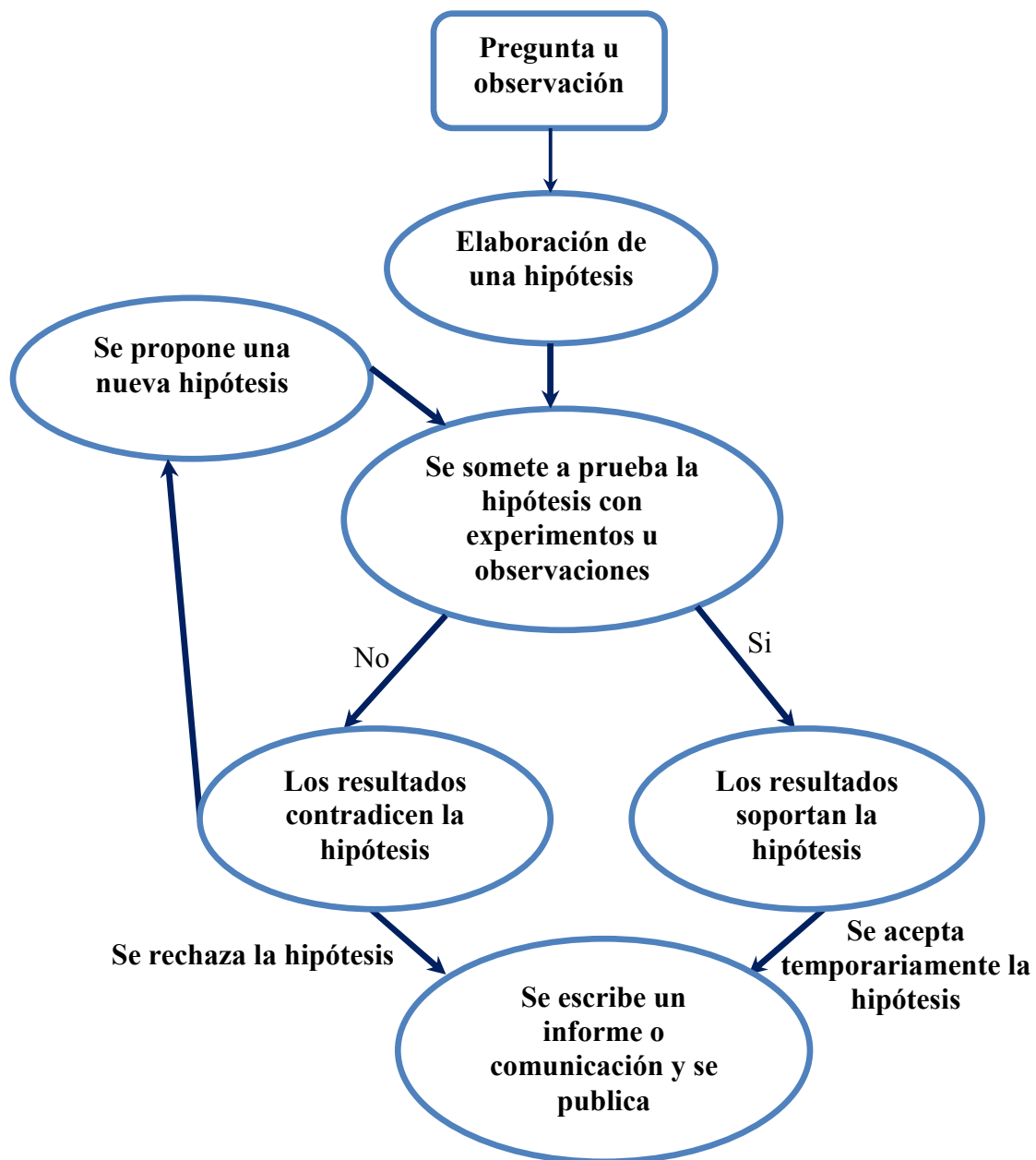


Figura 1.2 Diagrama esquemático de método de las ciencias fácticas.

Otro aporte significativo a nuestra visión de las ciencias, fue realizado por T. Kuhn,⁵ quien llama la atención sobre los aspectos históricos, sociológicos y culturales en las ciencias. En un determinado contexto histórico la *comunidad de científicos* comparte un conjunto de teorías, técnicas y valores que denomina “paradigmas”. Este conjunto de paradigmas constituye lo que Kuhn llama la “ciencia normal”. Los científicos estudian hechos y fenómenos, algunos de ellos “enigmáticos”, y tratan de explicarlos usando los paradigmas vigentes. Así, por ejemplo, la mecánica clásica o el electromagnetismo clásico o la termodinámica son ejemplos de los “paradigmas” prevalentes hacia fines del siglo XIX. Al tratar de explicar la radiación de cuerpo negro, (enigma) a la luz de las teorías clásicas, los físicos encontraron una “anomalía” por cuanto la radiación del cuerpo negro no podía explicarse a la luz de las teorías clásicas. Cuando las anomalías de una teoría se acumulan, sobreviene un “período de crisis”.

La “crisis” es superada cuando se desarrolla un nuevo paradigma superador, que explica tanto los hechos incluidos en los anteriores paradigmas y además las anomalías que llevaron a la crisis. O sea, según Kuhn, se produce una “revolución científica,” que resuelve las anomalías de la teoría anterior. En el caso de la física, esto ocurrió con la mecánica cuántica y la teoría de la relatividad. A partir de ese momento, estas últimas teorías se convirtieron en parte de los paradigmas vigentes, se transformaron en la nueva ciencia “normal”, que es la que se enseña a los estudiantes y la que los científicos usan para resolver sus enigmas.

Sin embargo, es claro que este modelo de evolución científica continúa, y de hecho una de las mayores ambiciones de muchos científicos y estudiantes de física es descubrir una anomalía y eventualmente generar una “revolución científica.” En este libro, hemos intentado formular varios “enigmas” que proponemos como desafío a los estudiantes. Esperamos que los mismos sirvan como gimnasia intelectual, que los prepare y estimule a encontrar y resolver los enigmas que puedan encontrar en el futuro, y también para que tal vez alguno de ellos pueda identificar anomalías en las teorías vigentes o participar de futuras revoluciones. Sean Uds. Bienvenidos a esta aventura del pensamiento.

Stay hungry. Stay foolish. (Sigan hambrientos. Sigan alocados.), Steve Jobs, Stanford, 2005.

Redacción de informes de laboratorio

Un experimento no concluye hasta que se elabora un informe escrito donde se discuten los resultados y se muestran los resultados y se intenta interpretar los mismos a la luz de algún modelo o teoría pertinente. En el apéndice A de este libro se describe con más detalle el formato estandarizado de informes científicos. Estos informes siguen las mismas reglas generales que las publicaciones científicas. De hecho, la redacción y publicación de los resultados científicos es una parte inherente del método científico. A través de estas publicaciones, otros investigadores pueden reproducir nuestros resultados y hacer ensayos en nuevas condiciones, de modo de validar o refutar los mismos. Este procedimiento, en definitiva hacen nuestros resultados y teorías más robustas y confiables. Además, el intercambio de ideas con colegas es en si mismo un ejercicio excitante y enriquecedor.

Seguridad en el laboratorio

Una regla básica de gran importancia en el trabajo de laboratorio, es cuidar su seguridad y la de las otras personas. Par ello es de fundamental importancia el recordar algunas reglas generales:

- ✓ No encienda ni conecte ningún instrumento hasta que el instructor le explique su funcionamiento y lo autorice a hacerlo. Lo mismo vale para la manipulación de sustancias. Antes de conectar un instrumento a la red eléctrica, lea cuidadosamente el manual de instrucciones y asegúrese de entender su funcionamiento, las precauciones para su uso y las recomendaciones de seguridad.
- ✓ Si utiliza sustancias peligrosas, asegúrese que un instructor idóneo lo instruya en su uso y tenga en cuenta todas las precauciones necesarias para su uso.
- ✓ Sea extremadamente cuidadoso con las conexiones eléctricas, lámparas de mercurio, láseres, fuentes radioactivas, etc. Lea siempre las recomendaciones de seguridad para su uso y no las utilice sin autorización del responsable de su laboratorio.
- ✓ Recuerde que el laboratorio es un lugar para aprender a hacer ciencia e incorporar normas de seguridad que minimicen los riesgos de accidentes. El laboratorio debe ser un lugar para disfrutar del pacer de aprender cosas nuevas y sorprendentes, que en ningún caso deben poner en riesgo su integridad física ni la de otras personas.

- ✓ Al final de este libro se indican otras medidas de seguridad a tener en cuenta en el trabajo con algunos materiales específicos. Recuerde siempre de consultar el buen uso de cualquier instrumento o sustancia nueva con la que se encuentre.

En el Apéndice B se detallan normas de seguridad específicas para un conjunto de situaciones frecuentes. Sin embargo, ante una situación que involucre algún equipo o material nuevo, siempre infórmese adecuadamente de las normas de seguridad específicas que deben de tenerse en cuenta en cada caso.

Referencias

¹ *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?*, Alan F. Chalmers, Siglo XXI Editores, Argentina, 1988.

² *Filosofía como ciencia* en Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Philosophy_of_science

³ *La ciencia su método y su filosofía*, Mario Bunge, Ediciones Siglo Veinte, Buenos Aires, 1971

⁴ Relatividad general, Experimento de Eddington, Wikipedia:

http://es.wikipedia.org/wiki/Relatividad_general

⁵ *La estructura del las revoluciones científicas*, Thomas Kuhn, Fondo de Cultura Económica, México 1985.

Índice Alfabético

Marcadores	Nombre Marcador
ciencias fácticas	facticas
ciencias formales	Formales
positivismo	Positivismo
falsabilidad	Falsabilidad
Popper	Popper
falsable	falsable
Kuhn	Kuhn
paradigmas	Paradigmas
anomalía	Anomalía
revolución científica	Revolucion
enigma	enigma