

**DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS
EXPERIMENTALES
EN EDUCACIÓN PRIMARIA**

Consulte nuestra página web: **www.sintesis.com**
En ella encontrará el catálogo completo y comentado



Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra sin contar con autorización de los titulares de la propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (arts. 270 y sigs. Código Penal). El Centro Español de Derechos Reprográficos (www.cedro.org) vela por el respeto de los citados derechos.

DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES EN EDUCACIÓN PRIMARIA

Ana Rivero García
Rosa Martín del Pozo
Emilio Solís Ramírez
Rafael Porlán Ariza



Reservados todos los derechos. Está prohibido, bajo las sanciones penales y el resarcimiento civil previstos en las leyes, reproducir, registrar o transmitir esta publicación, íntegra o parcialmente, por cualquier sistema de recuperación y por cualquier medio, sea mecánico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia o por cualquier otro, sin la autorización previa por escrito de Editorial Síntesis, S. A.

© Ana Rivero García
Rosa Martín del Pozo
Emilio Solís Ramírez
Rafael Porlán Ariza

© EDITORIAL SÍNTESIS, S. A.
Vallehermoso, 34. 28015 Madrid
Teléfono 91 593 20 98
www.sintesis.com

ISBN: 978-84-9171-062-2
Depósito Legal: M. 25.271-2017

Impreso en España - Printed in Spain

Índice

<i>Prólogo</i>	9
----------------------	---

PARTE I *Fundamentos*

1. <i>Didáctica de las ciencias: mucho más que la manera de enseñar ciencias</i>	15
1.1. Enseñar y aprender ciencias en la escuela primaria: el origen	15
1.2. La didáctica de las ciencias: una historia muy reciente.....	18
1.3. De qué hablamos cuando hablamos de didáctica de las ciencias.....	20
1.4. Lo que se investiga en didáctica de las ciencias	24
1.5. Repercusión de los resultados de la investigación en didáctica de las ciencias en la práctica.....	28
1.6. Retos actuales de la didáctica de las ciencias.....	32
1.7. Síntesis de las ideas tratadas en el capítulo	36
2. <i>Naturaleza de la ciencia</i>	39
2.1. Reflexión inicial.....	40
2.2. La construcción del conocimiento científico	42
2.2.1. <i>Revisión histórica sobre el método científico</i>	42
2.2.2. <i>Un modelo orientador de la investigación científica</i>	48
2.2.3. <i>La elaboración de las teorías</i>	56
2.3. La ciencia como actividad humana.....	60
2.4. Los cambios en el conocimiento científico	62
2.5. Implicaciones de la naturaleza de la ciencia en la enseñanza de las ciencias en educación primaria	65
2.6. Síntesis de las ideas tratadas en el capítulo	66

3.	<i>Finalidades de la educación científica</i>	67
3.1.	Reflexión inicial.....	67
3.2.	El sentido de la educación.....	69
	3.2.1. <i>Los problemas del mundo</i>	70
	3.2.2. <i>Repensar las metas educativas</i>	72
3.3.	Las finalidades de la educación científica.....	74
	3.3.1. <i>Primera etapa: el desarrollo de las capacidades generales</i>	75
	3.3.2. <i>Segunda etapa: la adquisición de los conocimientos y métodos de la ciencia</i>	75
	3.3.3. <i>Tercera etapa: la educación científica para la formación de la ciudadanía</i>	77
3.4.	La enseñanza de las ciencias acorde a las nuevas finalidades.....	79
	3.4.1. <i>Enseñar una ciencia que ayude a complejizar el conocimiento de los alumnos</i>	79
	3.4.2. <i>Enseñar una ciencia que promueva el desarrollo de habilidades diversas</i>	80
	3.4.3. <i>Enseñar una ciencia que promueva valores necesarios para el ejercicio de la ciudadanía</i>	81
3.5.	Desarrollar la competencia científica.....	82
3.6.	Síntesis de las ideas tratadas en el capítulo.....	86
4.	<i>Enseñar y aprender ciencias en educación primaria</i>	87
4.1.	Reflexión inicial.....	88
4.2.	Los modelos didácticos.....	90
4.3.	Modelo didáctico tradicional o transmisivo.....	94
4.4.	Modelo didáctico tecnológico.....	96
4.5.	Modelo didáctico activista o espontaneísta.....	98
4.6.	Modelo didáctico de investigación en la escuela.....	100
4.7.	Análisis de modelos didácticos.....	102
4.8.	Enseñanza de las ciencias por investigación escolar.....	106
4.9.	Síntesis de las ideas tratadas en el capítulo.....	109

PARTE II

El diseño de la práctica

5.	<i>Las ideas de los alumnos en ciencias</i>	113
5.1.	Reflexión y diseño inicial.....	114
5.2.	Características de las ideas de los alumnos.....	116

Índice

5.3.	Exploración de las ideas de los alumnos.....	121
5.4.	El cambio de las ideas de los alumnos	126
5.5.	Analizar las ideas de los alumnos.....	131
5.6.	Utilización didáctica de las ideas de los alumnos.....	137
5.7.	Síntesis de las ideas tratadas en el capítulo	140
6.	<i>Los contenidos escolares de ciencias</i>	141
6.1.	Reflexión y diseño inicial.....	141
6.2.	Naturaleza de los contenidos escolares: el conocimiento científico, el de los alumnos y el que se pretende enseñar	143
6.3.	Tipos de contenidos: datos, conceptos, procedimientos y actitudes relacionados con la ciencia escolar.....	148
	6.3.1. <i>Los datos</i>	148
	6.3.2. <i>Los conceptos</i>	149
	6.3.3. <i>Los procedimientos</i>	150
	6.3.4. <i>Las actitudes</i>	154
6.4.	Organización de los contenidos escolares de ciencias	157
6.5.	Análisis didácticos de fuentes de información para seleccionar contenidos escolares de ciencias.....	160
	6.5.1. <i>Fuentes de primer orden</i>	161
	6.5.2. <i>Fuentes de segundo orden: el conocimiento escolar ya elaborado</i>	168
6.6.	Síntesis de las ideas tratadas en el capítulo	180
7.	<i>Metodología de enseñanza</i>	181
7.1.	Reflexión y diseño inicial.....	181
7.2.	Concepto de <i>actividad</i>	183
7.3.	Tipos de actividades.....	186
7.4.	Secuencia de actividades.....	191
	7.4.1. <i>Secuencia de actividades en un modelo tradicional de enseñanza</i> ...	192
	7.4.2. <i>Secuencia de actividades en un modelo tecnológico de enseñanza</i>	194
	7.4.3. <i>Secuencia de actividades en un modelo espontaneísta de enseñanza</i> ...	195
	7.4.4. <i>Secuencia de actividades en un modelo basado en la investigación escolar</i>	197
7.5.	Actividades para una metodología basada en la investigación escolar ...	202
7.6.	Síntesis de las ideas tratadas en el capítulo	204
8.	<i>Evaluación de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias</i>	207
8.1.	Reflexión y diseño inicial	207
8.2.	Concepto de <i>evaluación</i>	210

8.3.	Modelos evaluativos.....	215
8.4.	Tipos de evaluación del aprendizaje del alumno.....	217
8.5.	Criterios de evaluación.....	219
8.6.	Instrumentos de evaluación.....	226
	8.6.1. <i>Las pruebas escritas</i>	226
	8.6.2. <i>La elaboración de trabajos</i>	228
	8.6.3. <i>La observación</i>	229
	8.6.4. <i>El diario</i>	230
	8.6.5. <i>El cuaderno del alumno</i>	232
	8.6.6. <i>La rúbrica</i>	232
8.7.	Síntesis de las ideas tratadas en el capítulo.....	234

PARTE III

La práctica y la reflexión

9.	<i>La práctica de la investigación escolar en ciencias</i>	239
	9.1. Reflexión inicial.....	239
	9.2. La investigación escolar en la práctica.....	241
	9.2.1. <i>Algunas orientaciones para empezar</i>	241
	9.2.2. <i>Un ejemplo de investigación escolar</i>	242
	9.3. Lo que necesita un maestro para investigar en su aula.....	246
	9.4. La relación entre la teoría y la práctica.....	247
	9.5. Síntesis de las ideas tratadas en el capítulo.....	252
10.	<i>Aprender a enseñar ciencias</i>	253
	10.1. Los fundamentos de la propuesta formativa.....	253
	10.2. El conocimiento necesario para enseñar ciencias.....	255
	10.3. El programa para aprender a enseñar ciencias.....	257
	10.3.1. <i>Primera cuestión: ¿cuál es la naturaleza y las características del conocimiento científico?</i>	260
	10.3.2. <i>Elaboración de la primera propuesta de enseñanza, primer análisis y primer contraste entre los equipos</i>	262
	10.3.3. <i>El contraste con el conocimiento didáctico</i>	262
	10.3.4. <i>El contraste con las prácticas docentes innovadoras</i>	263
	<i>Bibliografía</i>	267

2

Naturaleza de la ciencia

Me llamo Irene y soy maestra de educación primaria. Hace poco me encontré este texto en la página web de Feder (Federación española de enfermedades raras), que quiero compartir con vosotros:

Anna posa ante la cámara. “Es extrovertida y tiene una memoria prodigiosa”, cuenta su madre, Ángela. Pero Anna, a pesar de estar en plena adolescencia –tiene 16 años– ni lee, ni escribe. Es una de las pocas personas en España diagnosticada con una enfermedad rara conocida como el síndrome Dup15q, por la que tiene duplicado el cromosoma 15. Su doctora explica que aunque no existen rasgos en la cara que reflejen la enfermedad, sí que se puede percibir en los ojos: “Depende del día, y de cómo la mires, tiene un color u otro. Son únicos”. Esa belleza lo que oculta es la duplicidad del cromosoma que tiene Anna. Lo cierto es que fue a través de unas manchas que le vieron a Anna como consiguieron dar con su diagnóstico. “Le hicieron una biopsia y determinaron que tenía que hacerse un estudio genético. Fue ahí donde descubrieron que tenía duplicado un cromosoma”. Pero no todas las familias se hacen este test. Por eso, la Fundación Inversión Duplicación del Cromosoma 15Q compuesta por familias afectadas está intentando financiar un proyecto en el Ciberer (Centro de Investigación Biomédica En Red de Enfermedades Raras) para que se puedan detectar los casos ocultos que puede haber en España. Esto es importante porque “cuando se tiene un diagnóstico, se puede realizar una vigilancia y un cuidado más específico. Trabajar en busca del mejor fármaco”, sostiene la doctora. “Aunque estamos muy lejos de dar con una cura”. Solo existe un grupo de trabajo a nivel internacional que trabaja en este área y lo ha formado un médico de Boston cuyo hijo padece la enfermedad y busca “conocer mejor qué parte del cromosoma funciona bien” (www.enfermedades-raras.org).

Cuando lo leí no pude dejar de hacerme numerosas preguntas: si ese médico de Boston no tuviese un hijo que padeciese la enfermedad, ¿estaría investigando sobre ella?, ¿por qué tienen que financiar el proyecto de investigación las familias

afectadas? Y, sobre todo, ¿por qué se tarda tanto en dar con una cura?, ¿de qué depende, del propio trabajo de los científicos, de disponer de tecnología adecuada, o de qué otra razón? Al reflexionar sobre ello, me di cuenta de que sabía poco sobre *cómo es y cómo se hace* la ciencia, *quién la hace y quién la financia*, qué tipos de *relaciones* hay entre ciencia y sociedad, o entre la ciencia y la tecnología. Y mañana a primera hora, la clase que tengo es precisamente de Ciencias de la Naturaleza. Hace tiempo que sé que para poder enseñar algo, primero tengo que saberlo yo. Y conozco muchos contenidos *de* ciencia, pero me di cuenta de que sabía muy poco *sobre* la ciencia.

El texto anterior, que compartió Irene en su blog, plantea numerosas preguntas que tienen relación con un tipo de conocimiento especial, que llamamos *naturaleza de la ciencia* y son las que vamos a intentar abordar en este capítulo. Se trata de un conocimiento especial porque es un *metaconocimiento* (o conocimiento sobre el conocimiento, en este caso científico) que surge de la reflexión en distintos ámbitos disciplinares, sobre todo en filosofía, epistemología, historia y sociología, aunque también en las propias ciencias y en la didáctica de las ciencias. El concepto de *naturaleza de la ciencia* engloba una amplia diversidad de aspectos acerca de qué es la ciencia, en qué se distingue de otros tipos de conocimientos, cómo se construye, cómo y en qué sentido cambia, qué caracteriza a la comunidad que la desarrolla, qué relaciones mantiene con la tecnología y qué influencias mutuas se dan entre ciencia y sociedad. Se trata, pues, de un conocimiento relevante para cualquier ciudadano, pues le permite comprender, valorar y tomar decisiones en el mundo actual, donde la ciencia y la tecnología están tan presentes en nuestra vida. Más relevante aún es para un maestro o maestra, pues conocer bien todos esos aspectos permite tomar mejores decisiones acerca de qué ciencia enseñar y cómo hacerlo.

El contenido de este capítulo no puede recoger todo el conocimiento experto elaborado hasta ahora sobre estas cuestiones, muchos de ellos muy complejos y sin consenso claro entre los propios investigadores y, en cualquier caso, de una amplitud inabordable aquí. Por ello se ha seleccionado la información más apropiada para ayudar a futuros docentes a realizar una enseñanza de las ciencias más coherente con la propia naturaleza de este conocimiento, organizándola en los apartados que se desarrollarán a continuación.

2.1. Reflexión inicial

Antes de afrontar la lectura de cualquier manual, es interesante realizar una reflexión personal, mejor aún si es por escrito, acerca de lo que uno piensa sobre el tema que se esté abordando. Esto te permitirá, sin duda, sacar mucho más provecho

del trabajo con el material que te vamos a presentar a continuación. Por ello, te pedimos que no continúes la lectura sin hacer ese ejercicio. Para ayudarte, puedes hacer uso del cuestionario que se te presenta en la actividad 2.1.

Actividad 2.1. Ideas iniciales

1. ¿Qué es, en tu opinión, la ciencia?
2. ¿Cómo crees que son las personas que se dedican a la ciencia y cómo puede ser su entorno de trabajo? Refléjalo con un dibujo.
3. ¿Cómo es el proceso mediante el cual los científicos elaboran conocimiento? Representalo mediante un esquema y explícalo.
4. Después de desarrollarse una teoría científica, ¿vuelve a cambiar alguna vez?
5. ¿Qué grado de importancia tienen los siguientes enunciados en la ciencia y en el arte? Escribe para cada caso un número del 1 al 5, teniendo en cuenta que 1 significa que tiene muy poca importancia y 5 mucha importancia:

	<i>Ciencia</i>	<i>Arte</i>
Intenta resolver problemas.		
Es un proceso creativo.		
Requiere habilidades innatas.		
Sigue procedimientos rigurosos.		
La subjetividad influye en los resultados.		
La comunicación es un aspecto imprescindible.		

6. Lee las siguientes declaraciones y marca un número del 1 al 5 en cada uno de ellos según el grado en que tu opinión o experiencia coincide con ellos, teniendo en cuenta que 1 significa estar en completo desacuerdo y 5 completamente de acuerdo:

1 2 3 4 5

La política de un país tiene poca influencia sobre el trabajo de los científicos, porque sus preocupaciones investigadoras se encuentran, en general, al margen de la política.

La tecnología es resultado de la aplicación de la ciencia.

En general, las personas de ciencia son más objetivas e imparciales en sus investigaciones que la mayoría de los demás ciudadanos en sus trabajos.

Los científicos deben considerarse responsables de las implicaciones sociales de sus descubrimientos.

La manera en que hacen ciencia los hombres y las mujeres no es diferente.

Hay otros muchos cuestionarios disponibles para explorar las ideas sobre la naturaleza de la ciencia, que se pueden consultar, por ejemplo, en <http://reec.uvigo.es> o en www.oei.es. Algunas de las preguntas del cuestionario anterior han sido extraídas o se han inspirado en ellos. Estos ejemplos pueden servir también, tal cual o adaptándolos, para explorar las ideas de los alumnos de educación primaria.

2.2. La construcción del conocimiento científico

La reflexión sobre los procedimientos que se usan en ciencia para generar y validar conocimiento está en el corazón de la comprensión de qué es la ciencia. Algunos han denominado a estos procedimientos *el método científico*, cuya definición ha sido objeto de preocupación y controversia entre filósofos y científicos, en la búsqueda de la definición de un método que garantice la validez universal del conocimiento científico. Algunas de las distintas definiciones elaboradas a lo largo de la historia, aunque rechazadas hoy, siguen presentándose como tal en algunos libros de texto (y otros materiales disponibles) y es frecuente detectarlas en el pensamiento de muchos docentes. Se trata de los métodos deductivo, inductivo e hipotético-deductivo, todos ellos formulados en el siglo xvii. Empezaremos con una sucinta descripción y análisis de los aspectos más característicos de estos métodos, para un mejor entendimiento del estado actual de los conocimientos respecto la construcción del conocimiento científico.

2.2.1. Revisión histórica sobre el método científico

El *método deductivo* (propuesto por Descartes inspirándose en el desarrollo del conocimiento matemático) comienza con la formulación de un problema, cuya respuesta se

obtiene a partir de principios generales ya establecidos y contrastados, de los que se deducen consecuencias para el problema investigado con la ayuda de otras teorías subyacentes. Por ejemplo, respecto al problema ¿los gorriones tienen alas?, se parte de una premisa ya establecida y aceptada (“todos los pájaros tienen alas”) y ayudados por otras premisas (“los gorriones son pájaros”) se establece “los gorriones tienen alas”.

En este método, la validez del conocimiento se basa en el juicio racional, reside en la razón. Se admite que la conclusión es válida si se admite que lo es el juicio del que se parte, estableciéndose un mecanismo que podríamos denominar *circular*. Se puede ver una representación esquemática de este modelo en la figura 2.1.

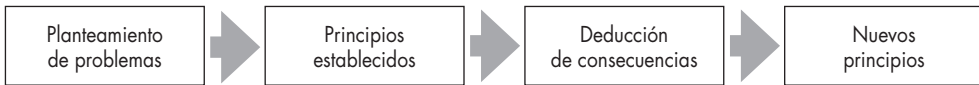


FIGURA 2.1. Representación esquemática del método deductivo.

El problema del deductivismo está en creer que toda explicación científica tiene la misma estructura lógica y que, por tanto, el método deductivo es aplicable a cualquier problema estudiado. Pero las llamadas ciencias formales (como las matemáticas) y las factuales (como la biología, la química, etc.) difieren en la naturaleza de su objeto de estudio (las primeras más ligadas al mundo de las ideas y las segundas al mundo socio-natural) y esto resulta lo bastante determinante para que los métodos de elaboración y la estructura de sus teorías difieran. De esta forma, aun admitiéndose que se trata de un tipo de razonamiento válido en la investigación científica, se ha puesto en cuestión como método único y universal.

En *el método inductivo* (atribuido a Bacon), se destaca la importancia de la experiencia en la ciencia y se defiende que solo partiendo de la observación de la realidad se puede construir conocimiento que se pueda considerar científico. La investigación comienza, pues, con la observación, a partir de la cual se generan enunciados observacionales particulares que constituyen la base para formular enunciados generales. Por ejemplo, desde los enunciados particulares (los gorriones son pájaros y vuelan, los búhos son pájaros y vuelan, las águilas son pájaros y vuelan, etc.) se establece un enunciado general (todos los pájaros vuelan). En este método es la experiencia la que otorga veracidad al conocimiento elaborado mediante la observación de la realidad (ver esquema representativo de este método en la figura 2.2). Se propone así un tipo de razonamiento que, podríamos decir, es contrapuesto a la deducción. Mientras que en los razonamientos deductivos se extraen principios particulares a partir de un supuesto general, en los inductivos se establecen principios generales a partir de enunciados particulares.



FIGURA 2.2. Representación esquemática del método inductivo.

Este método fue severamente puesto en cuestión por corrientes críticas como estrategia para elaborar y validar conocimiento científico con diversos argumentos. El primero se refiere a la *imposibilidad de establecer todos los enunciados observacionales posibles*. Así lo pone en evidencia Bertrand Russell, según cita Chalmers (1994), en su irónico relato sobre el pavo inductivista:

Este pavo descubrió que, en su primera mañana en la granja avícola comía a las 9 de la mañana. Sin embargo, siendo como era un buen inductivista, no sacó conclusiones precipitadas. Esperó hasta que recogió una gran cantidad de observaciones del hecho de que comía a las 9 de la mañana e hizo estas observaciones en una gran variedad de circunstancias, en miércoles y en jueves, en días fríos y calurosos, en días lluviosos y soleados. Cada día añadía un nuevo enunciado observacional a su lista. Por último, su conciencia inductivista se sintió satisfecha y efectuó una inferencia inductiva para concluir: siempre como a las 9 de la mañana. Pero ¡ay! Se demostró de manera indudable que esta conclusión era falsa cuando, la víspera de Navidad, en vez de darle la comida le cortaron el cuello (pp. 28-29).

Es decir, no es posible estar seguros de que no existe un hecho que desmienta la generalización, porque es imposible analizar todos los casos posibles y en todas las condiciones posibles, algunas de ellas inimaginables para el investigador. Por otro lado, si se plantea que no es necesario registrarlos todos, sino solo los suficientes o los relevantes, sería necesario decidir cuándo es suficiente y establecer bajo qué premisas se considera relevante el número de casos. Esto conduce, por un lado, a reconocer que la observación de la realidad ya no sería el único criterio para dar validez al conocimiento científico elaborado y, por otro, a asumir que la generalización se puede considerar *válida* (más cuantas más evidencias aporte), pero nunca *verdadera*.

El segundo argumento se refiere a que *la observación no siempre precede a la teoría*, sino que en las investigaciones científicas es relativamente frecuente que ocurra lo contrario. La lectura del texto que relata el descubrimiento de Neptuno es un buen ejemplo de ello:

Una vez detectado Urano, los astrónomos intentaron describir con precisión su órbita elíptica, pero el movimiento real del planeta se desviaba considerable-

mente de la órbita predicha por la teoría de la gravedad de Newton. Los científicos elaboraron otra explicación: las anomalías del movimiento de Urano podían deberse a las perturbaciones ejercidas por otro planeta desconocido más lejano. John Couch Adams (en 1845) y Rubain Leverrier (en 1846) predijeron independientemente, mediante cálculos matemáticos, la localización de dicho planeta, sin conocer ninguno los trabajos del otro. Según relata Hecht (1987), James Challis, profesor de Astronomía en Cambridge, tenía a su disposición las predicciones de J. C. Adams y aunque sus registros y anotaciones de las observaciones que realizó durante todo el verano demuestran que “vio” cuatro veces el planeta buscado e incluso percibió su disco aparente, hizo caso omiso de lo que había visto. Finalmente, Le Verrier pasó sus predicciones a un astrónomo del observatorio de Berlín, Johann Galle, que detectó el planeta en la primera noche que lo intentó y al que bautizó como Neptuno.

Se podría decir más, *las observaciones están cargadas de teoría* (Chalmers, 1994). Es extremadamente difícil que el observador pueda desprenderse de sus propios conocimientos, intereses, conflictos, etc., cuando realiza una observación, aunque lo pretenda, como le ocurrió a James Challis.

Frente al centramiento del inductivismo en los hechos como base para construir conocimiento científico, se planteó otro método, que reconoce la inevitable participación del observador. Se trata del *método hipotético-deductivo* (propuesto por Galileo), que se considera el precursor de la ciencia moderna. En él, tras el planteamiento del problema se formulan las hipótesis del investigador (fruto de su conocimiento y su creatividad) y se deducen, a partir de ellas, proposiciones elementales que se contrastan con la realidad. No se prueba la hipótesis misma, sino las consecuencias deducibles de ella. Si estas consecuencias están de acuerdo con las observaciones realizadas, las hipótesis se consideran *verificadas*. Por ejemplo:

- *Problema*: ¿por qué mueren más mujeres de fiebre puerperal en la primera división que en la segunda del mismo hospital?
- *Hipótesis*: los estudiantes de Medicina transportan algún tipo de materia putrefacta desde los cadáveres que acaban de examinar a las mujeres que acaban de parir y que examinan, siendo esa materia la responsable de la fiebre puerperal.
- *Enunciado deducible de la hipótesis*: si los estudiantes se lavan las manos antes de examinar a las parturientas, el número de muertes descenderá.
- *Pruebas*: los estudiantes se lavan las manos y se registra el número de muertes.

En el método hipotético-deductivo, se combinan lógicamente procesos de inducción y deducción para probar las hipótesis. La deducción está presente en la formula-

ción de las proposiciones derivadas de las hipótesis y la inducción en su verificación (ver esquema representativo de este modelo en la figura 2.3).

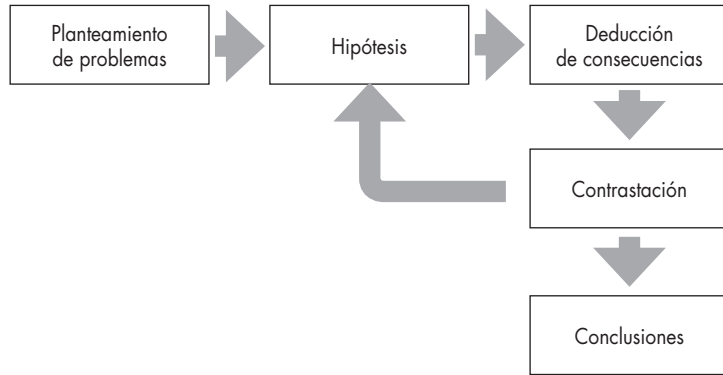


FIGURA 2.3. Esquema representativo del método hipotético-deductivo.

Karl Popper presentó una reformulación de este método y, frente a la estrategia anterior de *verificación* de las hipótesis, que este autor, crítico con el inductivismo, considera que nunca puede ser definitiva, propone la *falsación*. Entiende que los científicos construyen hipótesis provisionales en relación con los problemas planteados, y que sus esfuerzos deben dedicarse a criticarlas e intentar refutarlas. La crítica es esencial en la construcción de conocimiento científico y los procesos de falsación obligan a los científicos a modificar sus hipótesis, haciendo que el conocimiento científico mejore, se enriquezca y progrese. Si no se consigue falsar una hipótesis, entonces queda *corroborada* (que no verificada) provisionalmente. En esta propuesta se reconocen interesantes aportaciones comúnmente aceptadas hoy por los especialistas, tales como el carácter *tentativo* (no definitivo) de las teorías científicas y la relevancia del *espíritu crítico* en la ciencia.

Pero también ha sido puesto en cuestión usando un razonamiento similar al que se utilizó para criticar el inductivismo. Es decir: ¿es posible probar que una hipótesis ha sido falsada? Por ejemplo, Chalmers (1994) decía: “Las teorías no se pueden falsar de modo concluyente, porque los enunciados observacionales que sirven de base a la falsación pueden resultar falsos a la luz de posteriores progresos” (p. 93).

Por otro lado, es necesario tener en cuenta que los mismos datos observados pueden ser interpretados de distinta forma por distintos científicos en función de sus presupuestos de partida. Es decir, los científicos no solo recogen datos, normalmente los interpretan y lo hacen según sus propios conocimientos y utilizando sus capacidades creativas.

También en este caso, la historia de la ciencia nos muestra ejemplos ilustradores, como el referido a los estudios de Anaxágoras y Eratóstenes. Estos dos pensadores utilizaron los mismos datos: a medio día del solsticio de verano (21 de junio), el sol incide verticalmente en la ciudad de Siena (antigua ciudad de Egipto, próxima al actual Asuán) y en un lugar situado aproximadamente a 800 km (donde más tarde se construyó Alejandría), lo hace formando un ángulo con la vertical de 7° . Cada uno realizó cálculos de distinto tipo con estos datos, llegando a un mismo resultado, 6500 km. Pero para Anaxágoras, que pensaba que la Tierra era plana y el Sol debía estar relativamente cerca, esa era la distancia entre la Tierra y el Sol. Para Eratóstenes, que concebía la Tierra como una esfera y que el Sol debía estar lo bastante lejos como para suponer que sus rayos incidían verticalmente sobre la superficie terrestre, sus resultados indicaban la distancia de la superficie al centro de la Tierra.

Estos argumentos críticos no van dirigidos tanto a cuestionar que los distintos métodos propuestos permitan o no construir conocimientos científicos, sino que se pueda considerar a ninguno de ellos como el único método propiamente científico, ni que resulten garantes de la veracidad del conocimiento elaborado.

Este breve repaso histórico ayuda a entender algunas ideas relevantes (algunas de ellas ya expuestas por Solaz Portolés, 2010):

- a) Las observaciones de los científicos están filtradas por la percepción humana y las bases teóricas que los sustentan.
- b) Las construcciones científicas son inferenciales, los científicos no solo recogen datos, sino que los interpretan.
- c) Generar conocimiento científico implica creatividad y pensamiento divergente.
- d) La base teórica, las creencias, el conocimiento previo, la formación y las expectativas tienen un papel decisivo en el trabajo del científico.
- e) No existe un único método científico.
- f) No existe ningún método que garantice la certeza absoluta. En algunos casos, los científicos pueden justificadamente no estar de acuerdo entre sí.

Actividad 2.2. Identifica tu método

Si respondiste por escrito a la actividad 2.1, lee la respuesta que diste a la tercera cuestión y explica qué relación tiene con el método deductivo, inductivo o hipotético-deductivo. Analiza tu respuesta utilizando los argumentos críticos que consideres pertinentes.

2.2.2. *Un modelo orientador de la investigación científica*

Como se acaba de exponer, la historia de la ciencia nos ofrece numerosos ejemplos de que no ha existido –ni existe– un método único, acabado y cerrado para construir conocimiento científico. La ciencia no es un proceso mecánico que se desarrolla simplemente por la aplicación de una metodología concreta, sino un proceso mucho más complejo cargado de dificultades imprevistas, a la vez que de creatividad y riqueza intelectual y práctica, inmerso en un contexto social y cultural diverso y cambiante, al que influye y que le influye. Por ello, más que hablar de *método*, se puede aludir, en todo caso, a un *modelo general* que orienta la investigación científica y que puede adoptar formas variables. Se define a continuación este modelo orientador, resaltando los procesos de mayor aceptación por la comunidad científica (que no unanimidad) y que se consideran de interés para un docente de ciencias.

A) Fase inicial

En el inicio de una investigación científica hay un elemento clave: la formulación precisa de un problema que investigar. La elección y formulación del problema es resultado de distintos procesos, no siempre los mismos ni con la misma influencia. En ocasiones el problema se formula tras la observación de la realidad, con el interés de encontrar una explicación a lo observado; otras veces, el problema deriva de una tradición de investigación, con el interés de desarrollarla; o bien surge como una necesidad que la realidad plantea, con el interés de resolverla. En cualquier caso debe tratarse de un problema relevante (con capacidad de generar conocimiento nuevo en alguna medida), investigable (que se pueda abordar y resolver con los medios disponibles) y contrastable de alguna forma con la realidad (si no, no sería un problema científico).

Es habitual que los problemas científicos constituyan inicialmente ámbitos problemáticos amplios y que forme parte de la propia investigación el ir acotando el campo y delimitando los problemas. Todo esto se realiza en el marco de un conjunto de ideas que hacen que el problema tenga sentido, por tanto su formulación no es independiente del contexto científico, social y cultural en el que se encuentran los investigadores.

Los problemas de investigación van acompañados, normalmente, de la expresión de las hipótesis o supuestos iniciales de los investigadores acerca de los problemas, fruto de su conocimiento y su creatividad para establecer conexiones entre ellos. Su formulación permite recoger y organizar lo que se sabe o se supone y orienta la investigación en un camino determinado, de manera que influyen poderosamente en el diseño del estudio o investigación que realizar. Para ello, es importante que las hipótesis no solo ofrezcan una explicación plausible al problema de investigación, sino que puedan ser contrastables en el desarrollo de la investigación.

Antes de lanzarse a la fase de desarrollo de esta, los científicos eligen cuidadosamente la metodología que van a emplear y los instrumentos y técnicas que van a usar. Si la investigación no está bien diseñada, los resultados no se consideran relevantes.

Actividad 2.3. Formular problemas de investigación

Lee el siguiente texto:

Ignaz Semmelweis, un médico de origen húngaro, realizó unos importantes trabajos sobre la fiebre puerperal entre 1844 y 1848 en el Hospital General de Viena. Como miembro del equipo médico de la Primera División de Maternidad del hospital, Semmelweis se sentía angustiado al ver que una gran proporción de las mujeres que habían dado a luz en esa división contraía una seria y con frecuencia fatal enfermedad conocida como fiebre puerperal o fiebre de postparto. En 1844, hasta 260 de un total de 3157 madres de la Primera División –un 8,2%– murieron de esa enfermedad; en 1845, el índice de muertes era del 6,8%, y en 1846, del 11,4%. Estas cifras eran sumamente alarmantes, porque en la adyacente Segunda División de Maternidad del mismo hospital, en la que se hallaban instaladas casi tantas mujeres como en la Primera, el porcentaje de muertes por fiebre puerperal era mucho más bajo: 2,3%, 2,0% y 2,7% en los mismos años. En un libro que escribió más tarde sobre las causas y la prevención de la fiebre puerperal, Semmelweis relata sus esfuerzos por resolver este terrible rompecabezas.

¿Qué problema de investigación intentaba resolver Semmelweis? Formúlo de la forma más precisa que puedas.

Actividad 2.4. Plantear hipótesis y diseñar

Imagina que estás involucrado en una misión de rescate de las víctimas de un accidente aéreo. Mientras esperas la llegada de refuerzos, necesitas conservar el mayor tiempo posible, a baja temperatura, unos medicamentos muy delicados. Para conseguir este objetivo solo disponéis en ese momento de mantas de lana y recipientes metálicos encontrados en la cabina del avión. ¿Qué podrías hacer?

Para elaborar tu respuesta, vamos a realizar una investigación en la que fundamentarla. Disponemos de cubitos de hielo (que simularán la medicina que hay que conservar), madejas de lana y recipientes de metal. Intenta resolver el siguiente problema: ¿cuál de los dos materiales es más eficiente para conservar el cubito de hielo en mejor estado?

Para ello, sigue el siguiente guion de trabajo:

1. Define una hipótesis.
2. Diseña la prueba o pruebas que necesites y que se puedan realizar con los materiales disponibles.
3. Desarrolla el diseño que has realizado.
4. Expón tus conclusiones.

Si no se dispone de condiciones adecuadas para realizar la actividad propuesta, se pueden desarrollar algunas variantes, como la que se propone a continuación.

Fuente: actividad adaptada de Romero *et al.* (2016).

Actividad 2.5. Valorar hipótesis y diseños de investigación

A un grupo de estudiantes de Magisterio se les propuso realizar la actividad 2.4. Lee las hipótesis y diseños que elaboraron:

GRUPO A

Hipótesis: la lana aporta calor y el metal frío. La cazuela de metal es más eficiente que la lana para conservar el cubito de hielo.

Diseño: introducir el cubito de hielo en la cazuela de metal, esperar un tiempo y observar si el hielo se ha mantenido.

GRUPO B

Hipótesis: la lana aporta calor y el metal frío. La cazuela de metal es más eficiente que la lana para conservar el cubito de hielo.

Diseño: introducir un cubito de hielo en la cazuela de metal y envolver otro en lana. Realizar observaciones periódicas del estado de los cubitos de hielo y comparar su grado de conservación.

GRUPO C

Hipótesis: la lana es un material aislante y el metal es conductor. La lana es más eficiente que la cazuela de metal para conservar el cubito de hielo.

Diseño: envolver el cubito de hielo en lana, esperar un tiempo y observar si el hielo se ha mantenido.

GRUPO D

Hipótesis: la lana es un material aislante y el metal es conductor. La lana es más eficiente que la cazuela de metal para conservar el cubito de hielo.

Diseño: introducir un cubito de hielo en la cazuela de metal y envolver otro en lana. Realizar observaciones periódicas del estado de los cubitos de hielo y comparar su grado de conservación.

GRUPO E

Hipótesis: el cubito de hielo debe aislarse lo máximo posible de las condiciones ambientales para su conservación.

Diseño: envolver el cubito de hielo en lana e introducirlo todo en la cazuela de metal. Comprobar, pasado un tiempo, el estado del cubito de hielo.

GRUPO F

Hipótesis: el cubito de hielo debe aislarse lo máximo posible de las condiciones ambientales para su conservación.

Diseño: dejar un cubito de hielo expuesto a las condiciones ambientales y envolver otro en lana e introducirlo todo en la cazuela de metal. Comparar, pasado un tiempo, el estado de ambos cubitos de hielo.

Valora las hipótesis y los diseños de cada grupo, indica cuáles te parecen adecuados al problema planteado y cuáles no y justifica tu valoración.

B) Fase de desarrollo

En el desarrollo de las investigaciones científicas, la finalidad fundamental es obtener informaciones cuya interpretación permita a los investigadores aproximarse a la resolución del problema. Para ello, se utilizan *procedimientos generales y técnicas concretas* propias del quehacer científico.

Los procedimientos que usan los científicos son diversos y difíciles de caracterizar. Efectivamente, los científicos observan, recogen datos, buscan pruebas, razonan, imaginan, deducen, etc., pero no se puede establecer que todos estos procedimientos estén siempre presentes ni que se realicen siguiendo una línea marcada en un única dirección. Dada la diversidad de disciplinas científicas, las características de los propios objetos de estudio y la naturaleza de los problemas planteados, algunos de esos procesos pueden estar presentes o no y utilizarse en un momento u otro a lo largo de

la investigación. Es habitual, además, que se influyan mutuamente, haciendo que la investigación se adelante y vuelva atrás en varios momentos, sin olvidar los procesos azarosos que pueden tener lugar.

En el desarrollo de una investigación se utilizan también técnicas muy variadas. Así, por ejemplo, no se usan las mismas si es necesario obtener datos de alguna cuestión que puede ser directamente observable o medible (por ejemplo, la temperatura a la que un determinado líquido cambia de estado) que cuando nos enfrentamos a una cuestión de la que no podemos obtener datos directos (por ejemplo, los elementos químicos presentes en el centro de la tierra). Algunas técnicas se utilizan en laboratorios, pero otras se desarrollan en el medio natural (por ejemplo, los muestreos que se realizan en ecología) o en cualquier otro lugar (por ejemplo, las simulaciones con programas informáticos). Es decir, se hace ciencia en los laboratorios, pero también en muchos otros lugares, desde un despacho hasta el fondo del mar.

En esta fase es donde quizá se haga más evidente la relación entre ciencia y técnica, ámbitos que se han ido haciendo cada vez más interdependientes, hasta el punto de que en la actualidad muchos especialistas han acuñado el término *tecnociencia* para referirse al actual estado de estos dos campos. Efectivamente, son numerosos los ejemplos de avances científicos impulsados por avances tecnológicos (sólo hay que pensar en el desarrollo de la astronomía) y, al revés, los avances tecnológicos impulsados por avances científicos (como en el caso de la construcción de la bicicleta, por poner un ejemplo), así como desarrollos de investigación donde se hace difícil separar ambas dimensiones.

Así, no solo se usan procedimientos y técnicas muy diferentes, sino que además estas cambian a lo largo del tiempo, haciendo que lo que no era posible ayer pueda serlo mañana.

Por otro lado, es importante en esta fase prestar atención a los aspectos éticos del trabajo científico, que afectan a distintos dominios. Por ejemplo, a la toma de datos cuando se experimenta con seres vivos, o a las implicaciones de las elaboraciones científicas. La toma de decisiones en estas cuestiones afecta al diseño y desarrollo de las investigaciones y es motivo de debate en la comunidad científica, que ha ido dotándose de mecanismos para intentar controlarla, tales como la elaboración de códigos éticos. Sin embargo, a nadie se le escapa que esta cuestión debe ser motivo de debate no solo en la comunidad científica, sino en toda la sociedad.

Partiendo de toda esta diversidad mostrada, es posible señalar algunas características que sí son comunes en el desarrollo del trabajo científico, algunas de ellas más relacionadas con el ámbito de las actitudes que con otras cuestiones, como son el intento consciente de aproximarse a la exactitud, la búsqueda de la imparcialidad y del consenso, la paciencia, la apertura mental y el escepticismo. Mediante estos valores, el contraste continuo entre teoría y realidad, el uso constante de los razonamientos lógicos y la creatividad y la duda sistemática sobre los resultados obtenidos y el proceso seguido para obtenerlos (que conduce a continuas revisiones), los científicos