

LA CIENCIA EN EL AULA

Lo que nos dice la ciencia sobre cómo enseñarla

Gabriel Gellon
Elsa Rosenvasser Feher
Melina Furman
Diego Golombek



Paidós

Buenos Aires • Barcelona • México

EL MUNDO DE LOS FENÓMENOS

En este capítulo iniciaremos nuestra discusión acerca de los atributos que caracterizan a la actividad científica y que, de acuerdo con nuestra postura, deberían ser introducidos en el ámbito de la enseñanza. El primero de estos aspectos de la ciencia es quizá uno de los más prominentes pero, a la vez, también uno de los más fáciles de olvidar a la hora de enseñar. Se trata de la indisoluble conexión entre las ideas científicas y el mundo de los fenómenos que esas ideas buscan explicar.

La estrecha conexión entre el conocimiento científico y el mundo físico a nuestro alrededor es consecuencia del propósito fundamental de la actividad científica. Las ciencias naturales constituyen un intento de lograr descripciones precisas y explicaciones comprensivas del mundo que nos rodea y esto supone la existencia de una realidad que aprehendemos con nuestros sentidos. El conocimiento científico se corrobora mediante la repetición de observaciones de –y experimentos sobre– esta realidad, y por lo tanto lo que afirmamos *científicamente*¹ está conectado en última instancia con nuestra experiencia sensorial. Esto es lo que llamamos el *aspecto empírico* de la ciencia.

1. Afirmer científicamente implica que la afirmación cumple con varios requisitos que iremos dilucidando a lo largo de este libro. Hay otros tipos de afirmaciones, por ejemplo, las que se basan en una doctrina o fe religiosa, en un sistema legal o en un credo artístico. Éstas no son menos válidas que las científicas, pero son diferentes.

Como veremos a lo largo de este capítulo, existen varias características de la enseñanza tradicional que producen un cortocircuito con este aspecto de la ciencia. El uso del libro de texto como fuente última de autoridad, la ausencia de clases prácticas o de laboratorio, o la introducción prematura de terminología científica, es decir, antes de la comprensión de las ideas que le dan origen, son ejemplos de las numerosas prácticas en el aula que nos alejan de la ciencia como realmente es y nos conducen a clases que no reflejan la lógica o la filosofía de una mente verdaderamente “científica”. En este capítulo queremos discutir con cierto detalle en qué consiste este aspecto empírico de la ciencia, cómo se manifiesta en el quehacer del investigador científico y cuándo y de qué maneras está ausente en las actividades del aula. Finalmente, analizaremos qué tipo de actividades o actitudes por parte del docente pueden reforzar este aspecto de la ciencia en el trabajo con los estudiantes.

EL ASPECTO EMPÍRICO DE LA CIENCIA

Para un científico, las respuestas a sus preguntas deben estar avaladas por observaciones o experimentos. El conocimiento científico no es exclusivamente una construcción del pensamiento:² los productos del pensamiento puro, por más bellos que sean, no constituyen conocimiento científico si no dan cuenta de la realidad que buscamos explicar o describir. Por supuesto, parte de la actividad cotidiana de los investigadores radica en la construcción de modelos teóricos acerca de los más diversos tópicos, tema que abordaremos en el capítulo 7. Pero esos modelos sólo serán considerados válidos cuando sus predicciones se vean satisfechas con los experimentos correspondientes.

Una de las diferencias fundamentales entre la investigación científica y la enseñanza de las ciencias es que la primera busca producir ideas nuevas y, por lo tanto, el territorio que el científico explora es desconocido. Esto no es necesariamente así en la enseñanza de las ciencias: si bien el conocimiento a adquirir es desconocido por el alumno, el docente sabe por lo general muy bien adónde hay que ir, cuál es el rumbo del “descubrimiento” y su meta fi-

2. En el sentido en que lo es la matemática, disciplina en la que, dados los axiomas, lo demás son deducciones que no necesitan una ratificación empírica.

nal. Es más, el alumno sabe que el docente conoce ese camino y espera, por lo tanto, que le sea revelado o, por lo menos, ser guiado hacia él.

Como el camino está trazado, es fácil olvidar en el aula los orígenes empíricos de las ideas científicas y quedarse con el resultado final, sin tener en cuenta cómo esas ideas se conectan con evidencias en el mundo de los fenómenos (o, incidentalmente, olvidando también sus bases históricas y las posibles controversias que hubieran aparecido en el trayecto). Esto se da en extremo si se utiliza una forma declarativa de enseñanza de las ciencias, en la que el docente (o el libro de texto) les cuenta a los alumnos cómo “es” la realidad. En este caso, la fuente fundamental del saber no es la observación o el experimento, sino la palabra consagrada en el libro de texto o en la autoridad del docente.

Si queremos, por lo tanto, llevar adelante clases de ciencias con espíritu científico, deberemos volcar gran parte de nuestros esfuerzos en basar el aprendizaje en los fenómenos y evitar la palabra “revelada” como fuente de conocimiento. Por otro lado, sabemos que es imposible que los estudiantes redescubran por sí mismos aquello que las mentes más brillantes de la humanidad tardaron siglos en develar. Estamos por lo tanto frente a un complejo problema: cómo preservar un aspecto fundamental de la actividad científica en el contexto del aula.

CONTACTO DIRECTO CON LOS FENÓMENOS

Reconocer el carácter empírico de la ciencia en el aula implica, ante todo, poner a los estudiantes en contacto con el mundo de los fenómenos. Thomas Huxley, uno de los primeros científicos en sostener la importancia de introducir la ciencia en las escuelas, sostenía ya en 1899 que “la gran peculiaridad del entrenamiento científico [...] es poner a la mente en contacto directo con los hechos, y [...] extraer conclusiones de hechos particulares conocidos a través de la inmediata observación de la naturaleza” (citado en De Boer, 1991).

Es importante reconocer dentro del currículo cuáles son aquellos fenómenos que no les son familiares a los estudiantes e incluirlos de alguna manera en los contenidos a enseñar en clase. ¿Qué sentido tiene explicarles a los alumnos por qué suceden cosas que ellos ni siquiera saben que suceden? Según nuestra experiencia, por ejemplo, los estudiantes secundarios tienen poca exposición a fenómenos de cambio de estado. Saben que el agua se congela y evapora, pero rara vez han sido conducidos a observar que

otras sustancias también son capaces de estos cambios. Los chicos de hoy rara vez han visto con sus propios ojos cómo se funde un metal. Cuando un trozo de parafina se derrite, con frecuencia llaman a la cera derretida “agua”. Así, cuando hablamos de cambios de estado y su interpretación molecular, nos estaremos refiriendo a una teoría alejada de las vivencias de los alumnos. Y por eso consideramos fundamental que, en la medida de lo posible, los alumnos adquieran experiencia “de primera mano” sobre los fenómenos que queremos explicar.

Al observar fenómenos es importante dar a los estudiantes la oportunidad de formar sus propias ideas sobre lo que ocurre y de dar sus propias explicaciones antes de introducir la explicación científica. Es deseable también inducirlos a formular predicciones, especialmente aquellas que se puedan verificar experimentalmente. He aquí un ejemplo. En el patio de la escuela cada alumno tiene una tarjeta en la que ha hecho un pequeño agujero redondo y, de espaldas al sol, mira la sombra de la tarjeta en el suelo y la luz en forma de círculo en el medio. Preguntamos: “¿Qué vamos a ver en medio de la sombra de la tarjeta si hacemos un agujero cuadrado pequeño?”. Predicciones: “Un cuadrado”, dicen los que opinan que la forma de la imagen es la del agujero; “Un círculo”, dicen los que opinan que la imagen es redonda como el objeto luminoso (el sol).³ Ahora, y sólo cuando los alumnos están comprometidos con su predicción explicada, se hace la prueba.

Ésta es, en parte, la estrategia de los museos de ciencias participativos, que surgieron para contrarrestar la tendencia centrada en los libros, teórica y abstracta, que invadía las escuelas. Los módulos más exitosos en estos centros participativos son aquellos que ponen al visitante en contacto directo con fenómenos básicos de la naturaleza y dan suficiente flexibilidad a las manipulaciones como para que el visitante se haga preguntas del tipo “¿Qué pasaría si muevo esto acá o si pongo esto otro allá?”, y pueda contestarlas allí mismo, interactuando con el módulo. Estos mismos criterios pueden ser usados exitosamente para el diseño de actividades dentro del aula.

Otra estrategia interesante es exponer a los alumnos a fenómenos llamativos para los que no hay una explicación evidente. Por ejemplo, mostrarles una mesa que “levita” sobre cuatro globos inflados, uno bajo cada pata, sosteniendo el peso de dos alumnos sentados sobre ella. Estos fenómenos

3. En el capítulo 14 discutiremos fenómenos parecidos a éste con más detalle.

discrepantes (Harcombe, 2001), llamados así porque no concuerdan con lo que los alumnos esperan ver, generan no sólo curiosidad sino una necesidad genuina de comprender por qué sucede lo que tienen ante sus ojos. Cuando las observaciones resultan difíciles de conciliar con experiencias previas, se convierten en problemas para resolver y desafían a buscar nuevas explicaciones.

USO Y ABUSO DE LAS PALABRAS

Presentar en clase abundantes experiencias que pongan a los estudiantes en contacto con la realidad a explicar es un buen comienzo para llevar el aspecto empírico de la ciencia al aula. Pero hay que prestar atención al uso de prácticas verbales que puedan interferir, insidiosamente, con este buen comienzo. La instrucción en ciencias está plagada de terminología técnica, y la manera en que introduzcamos esta terminología tendrá un profundo impacto en la idea que los estudiantes se hagan de la ciencia y sus modos de trabajo.

Tomemos el ejemplo del fenómeno discrepante del párrafo anterior (la mesa que “levita” sobre globos inflados). A lo largo de esta investigación, podremos introducir términos técnicos como “presión” y “fuerza” a medida que los alumnos necesiten nombrar los fenómenos que están observando y describiendo. Por el contrario, si ha sido definida desde un comienzo, estaremos poniendo el énfasis en la terminología, no en las ideas asociadas, y, de ese modo, estaremos consagrando a la palabra y no a los fenómenos como fuente de saber. Por ejemplo, un profesor que empiece la clase diciendo: “Hoy abordaremos el tema ‘fuerzas’. Chicos, ¿qué entienden ustedes por ‘fuerza’?”, parece indicar que el conocimiento reside en entender el significado de la palabra “fuerza”, la cual puede fácilmente buscarse en el diccionario. El objeto de la física no es develar el significado de la palabra “fuerza” sino entender cómo interactúan los objetos materiales unos con otros y cómo esas interacciones afectan el movimiento de los objetos. Una clase de ciencias no debe buscar darles significado a los términos. Por el contrario, los términos deben acuñarse justamente para poder referirse a fenómenos presenciados e ideas formuladas que se conocen pero no han sido nombrados todavía.

Con frecuencia los estudiantes creen que nombrar un fenómeno es entenderlo, que comprender radica en nombrar algo o referirse a terminología sofisticada. “¿Por qué caen las cosas?”, pregunta por ejemplo el profesor.

“Por la gravedad”, contestan los estudiantes, sin agregar ninguna claridad al asunto. Decir “gravedad” no explica el fenómeno, simplemente lo nombra. Será importante entonces exponer a los estudiantes a las formas en que las ideas se desarrollan y evolucionan en ciencia, y tener un especial cuidado en cómo, cuándo y por qué se introducen en clase los términos técnicos, poniendo el énfasis en los fenómenos y conceptos involucrados y no en las palabras que los denotan.

Richard P. Feynman, un físico que fue galardonado con el Premio Nobel en 1965, cuenta que su forma de pensar (¡que era poderosísima!) fue muy influida por su padre, quien lo llevaba a caminar cuando era chico y le mostraba los pájaros y las plantas. El padre le decía: “No importa cómo se llama. Lo que importa es que es marrón con el pecho amarillo y del tamaño de un gorrión y vive en clima frío y...”. En otras palabras, lo importante eran las características físicas y el comportamiento del pájaro. Así, en otro lugar, en otro país y con otro idioma, se podía individualizar al pájaro sin tener que saber su nombre (claro está que a los efectos de la comunicación con otra gente, conocer el nombre del pájaro no está de más, pero ésa es otra cuestión).

Al ceñirnos lo más estrictamente posible a esta secuencia *fenómeno-idea-terminología*, estamos utilizando la secuencia lógica que sigue la investigación científica. Comenzando por la introducción de una serie de fenómenos, y permitiendo que los estudiantes se familiaricen con ellos mediante el juego y la exploración, se podrán desarrollar las ideas fundamentales de la unidad que se está estudiando. Pero será importante concentrarse en los conceptos y en las ideas sin darles nombres particulares sino usando palabras de todos los días que permitan describir lo que se ve. Recién cuando las ideas hayan sido comprendidas diremos: “Bueno, a esto que vemos aquí los científicos lo llaman...”. El uso de esta secuencia puede hacerse explícito a los estudiantes de modo que se sumen conscientemente al esfuerzo de pensar las ideas primero y disponer de los términos técnicos cuando sea adecuado.

Veamos, como ejemplo, una estrategia que hemos usado con éxito para introducir el tema de las fuerzas balanceadas. Les damos a los estudiantes globos inflados con helio y ganchitos para papel. Los ganchitos son para colgar del hilo que sujeta al globo y así agregarle peso. Les pedimos a los alumnos que traten de lograr, con ayuda de los ganchitos, que los globos no suban ni bajen sino que queden suspendidos a una determinada altura en el aire. Durante esta actividad se discute en qué condiciones los globos suben, en cuáles bajan y en cuáles alcanzan un equilibrio. En sucesivas clases se

expone a los alumnos a otros objetos en flotación y a los efectos balanceadores de los resortes. A partir de estas experiencias, hablamos luego de la cancelación de efectos, de la flotación, de cómo las superficies sólidas ejercen una fuerza contra los objetos que descansan en ellas... y todo ello sin introducir ningún término técnico. Al final, ponerle nombre (fuerza neta, fuerza normal, fricción, etc.) a esos fenómenos que ellos ya conocen bien por su propia experiencia resulta la parte más sencilla del proceso.

DEFINICIONES OPERACIONALES Y DEFINICIONES DE CORTE TEÓRICO

La incorporación del aspecto empírico de la ciencia en el aula no involucra solamente fenómenos, experimentos, prácticas de laboratorio u objetos reales. La manera misma en que definimos un término técnico tiene impacto en cómo y hasta qué punto incorporamos los aspectos empíricos de la ciencia en el aula. Así, si definimos un término mediante una receta de operaciones prácticas a seguir, estamos dando lo que se llama una *definición operacional* (Hempel, 1973). Una definición operacional incluye formas de medición y criterios inequívocos. Por ejemplo, si decimos que “velocidad” es “el cociente entre la distancia recorrida por un objeto en movimiento y el tiempo que le tomó a ese objeto recorrer esa distancia”, está claro que la velocidad de un objeto se define mediante las siguientes operaciones: medir la distancia que recorre, determinar el tiempo que le lleva recorrerla y dividir el primer número por el segundo. Si contrastamos esta definición con otras “estilo diccionario”, como “cuán rápido se mueve un objeto” o “celeridad en un movimiento uniforme”, veremos claramente la base empírica de la definición operacional (Bateson, 1990; Maturana y Varela, 1984).

Existe otro tipo de definiciones sumamente importantes en ciencia y que no son operacionales: son las definiciones de corte teórico en las cuales un término se define dentro de un marco teórico determinado. Por ejemplo, la teoría atómica provee un marco de referencia para definir toda una serie de términos. Una “sustancia” es un “sistema compuesto de sólo un tipo de molécula”. Un “elemento” es un “sistema compuesto de sólo un tipo de átomo”. Estas definiciones no son operacionales, ya que se basan en conceptos teóricos previos y no en operaciones a realizar. Una definición operacional de “elemento” es: “un sistema que no puede ser descompuesto

mediante reacciones químicas en otros sistemas con propiedades distintas”.⁴ En otras palabras, si nos dan un frasco con un líquido desconocido y nos preguntan si se trata de un elemento, sólo tendremos que tratar de descomponerlo químicamente: si lo logramos, el líquido no es un elemento; si no lo logramos, el líquido es un elemento.

Los diferentes tipos de definiciones promueven distintos aspectos del conocimiento científico si son introducidos en el orden adecuado. La definición operacional, por su naturaleza, evoca nuestra experiencia sensorial y el espacio donde se realizan las operaciones (laboratorio, campo, etc.), y de esa manera nos fuerza a un punto de vista empírico. Las definiciones teóricas, en cambio, surgen como fruto de los cuerpos de teoría, los cuales por lo general son elaborados a fin de dar sentido a una vasta gama de observaciones o fenómenos primarios. Es decir que el orden natural en la construcción de las ideas científicas por parte de los investigadores va desde observaciones crudas a edificios cada vez más complejos de teorías que buscan aunar dichas observaciones. La introducción demasiado temprana de definiciones de corte teórico viola esta secuencia propia de la ciencia y redundante en la mistificación de los términos usados. Introducir términos basados en edificios teóricos que aún no han sido levantados por los estudiantes es forzarlos a aceptar un conjunto de ideas sin basamento racional, como conocimiento revelado en vez de construido. Las definiciones operacionales, por el contrario, refuerzan la idea de que los términos son usados para describir cosas concretas del mundo real. Ahondaremos en el tema de las construcciones teóricas al discutir los aspectos abstractos de la ciencia en la tercera parte de este libro.

EVOLUCIÓN DE LA TERMINOLOGÍA CIENTÍFICA

La terminología científica es dinámica: los términos se definen y redefinen a lo largo de la historia a medida que los científicos aprenden más sobre los fenómenos que estudian. Será interesante exponer a los estudiantes a esta vivencia de que los términos científicos evolucionan junto con nuestra comprensión de la realidad. Por ejemplo, una clase de dinámica

4. Esta definición asume que tenemos también definiciones operacionales de los términos “reacción química” y “descomposición”, pero ambas definiciones son posibles sin utilizar el término “elemento”.

puede comenzar usando una definición simple del concepto de fuerza, basada en la sensación física de nuestros músculos. Luego puede introducirse una definición dentro del marco aristotélico de pensamiento, como “aquello que mueve las cosas” o “sin fuerzas no se puede sostener el movimiento”. Ésta puede evolucionar a tiempos galileanos aceptando el principio de inercia: “una fuerza es aquello que inicia o detiene el movimiento pero no es necesaria para mantenerlo”. Así, a través de refinamientos puede llegarse a una definición que introduzca las leyes segunda y tercera de Newton y haga referencia a la aceleración. Normalmente los cursos de la escuela secundaria se detienen en esta definición como la correcta, pero un estudiante acostumbrado a percibir que las definiciones van cambiando a medida que refinamos nuestras ideas no se sorprenderá si en el futuro es necesario cambiarla una vez más para introducir más refinamientos teóricos (por ejemplo, “fuerza es aquello que cambia la cantidad de movimiento de un objeto, considerando a la masa como función de la velocidad”).

Mostrar que los términos evolucionan en su significado es otra manera de bajar a las palabras de su pedestal de autoridad y convertirlas de a poco en nada más ni nada menos que herramientas de pensamiento y comunicación. Nuestros alumnos deberán apreciar que las palabras están al servicio de nuestro pensamiento y no al revés.

LAS EXPERIENCIAS DE LABORATORIO

Hemos dicho que la secuencia que usamos para desarrollar una idea puede tener impacto en cuán ajustada estará la clase a los aspectos empíricos de la ciencia. Esto es especialmente cierto en el caso de las prácticas de laboratorio. Una práctica de laboratorio en la cual solamente se verifica lo que se estudió previamente en la clase teórica no promueve un pensamiento empírico. Por el contrario, sugiere que la verdad está en los libros o en la cabeza del profesor y que los experimentos son simplemente maneras de comprobar una de esas verdades, no una forma de descubrirlas. Una buena práctica en el aula es la de desarrollar ideas a partir de experiencias o prácticas de laboratorio y no al revés; en otras palabras, no utilizar las prácticas de laboratorio para demostrar o confirmar ideas desarrolladas en el pizarrón. Esta forma de proceder tiene la virtud de desterrar del aula la frase: “el experimento me dio mal”. ¿Cómo puede “dar mal” un experimento? Solamente si se sabe de antemano cuál “debería”

ser la respuesta. Y aun así: si el experimento no dio el resultado esperado, se necesita hacer comprender al alumno que se obtuvo lo que tenía que dar *en las condiciones imperantes*. Quizá había un circuito mal armado – es decir, armado en forma distinta de la deseada– o tal vez la sustancia química usada no era pura como se creía sino que estaba contaminada. Buscar la fuente de la discrepancia entre el resultado real y el esperado es parte del hacer buena ciencia.

CONSTRUYENDO IDEAS “DESDE CERO”

Si quisiéramos respetar el aspecto empírico al máximo posible, deberíamos desarrollar actividades en las que las ideas se construyan “desde cero”. En un programa de este tipo, los estudiantes empiezan usando sólo sus sentidos y su experiencia cotidiana, dejando conscientemente de lado conceptos y términos científicos escuchados o aprendidos previamente. Por ejemplo, una investigación sobre el movimiento de la Tierra y el Sol puede introducirse así: “Intentemos olvidarnos de lo que conocemos sobre cómo se mueven la Tierra y el Sol, y vamos a tratar de explicarlo a partir de lo que nos dicen nuestros sentidos, como si fuéramos antiguos exploradores del cielo”. A partir de allí se desarrollan investigaciones o discusiones que van construyendo un tejido de conceptos: se suceden las observaciones, hipótesis y construcción de modelos hasta desarrollar las ideas buscadas. En este esquema no existe un texto “verdadero” y la información que brinda el docente es muy limitada.

En este tipo de trabajo los estudiantes avanzan por un proceso de descubrimiento guiado, altamente digitado por el diseño del programa de enseñanza. En este abordaje, igual que en la investigación científica real, los conceptos se construyen sólo por lo que la experiencia requiere o permite: no se usan fórmulas del estilo “esto ha sido probado por otros científicos” o “esto es así porque lo digo yo”.

Existe un interesante programa de este tipo de abordaje “desde cero” que desarrolla todos los conceptos fundamentales de circuitos eléctricos (Steinberg *et al.*, 2004). Pero debe reconocerse que la creación de un programa de este tipo conlleva un trabajo formidable y supone múltiples evaluaciones con estudiantes.

LA DINÁMICA DE LA INDAGACIÓN EN EL AULA

Son numerosos los aspectos del trabajo en el aula que promueven la verdad revelada y hacen difícil un acercamiento empírico a la ciencia. Algunos son verdaderamente sutiles. Por ejemplo, el manejo de los tiempos puede tener un impacto considerable en la construcción de ideas de los alumnos. Pensar requiere tiempo, sobre todo en relación con la elaboración de explicaciones y de predicciones a la que nos referíamos más arriba. Y este tiempo no es uniforme: algunos alumnos requieren más tiempo que otros. Al trabajar con diálogos y preguntas orales es importante tener en cuenta la labor de la investigadora y docente estadounidense Mary Budd Rowe (1978), quien sostuvo, sobre la base de múltiples estudios, que luego de hacer una pregunta es necesario que el docente espere por lo menos tres segundos antes de volver a hablar y otros tres segundos después de la respuesta del alumno. Estos tiempos de espera mejoran mucho la calidad de los diálogos durante el proceso de indagación ya que le permiten al alumno interpelado elaborar su respuesta y, después de formularla, ampliarla y agregar comentarios. Sin embargo, las investigaciones muestran que muy pocos docentes cumplen con estos tiempos de espera y que, cuando los ponen en práctica, acostumbrados a esperas de menos de un segundo, esos tres segundos les resultan increíblemente largos.

¿Qué pasa con las brevísimas pausas que se les suelen dar a los alumnos para elaborar contestaciones? Sucede que, al no tener tiempo para pensar en una respuesta adecuada, la pregunta del docente se vuelve retórica y es seguida por la respuesta dada por el mismo docente. Así es como, al no dar lugar al proceso de construcción por parte del alumno, las ideas toman el carácter de verdades reveladas. Esto muestra hasta qué punto la dinámica de la relación entre alumno y docente desempeña un papel importante en el aprendizaje.

¿CÓMO RESPETAR EL ASPECTO EMPÍRICO DE LA CIENCIA EN EL CASO DE FENÓMENOS QUE NO SE PUEDEN OBSERVAR EN EL AULA?

No siempre es posible exponer a los alumnos a los fenómenos naturales, especialmente cuando tratamos los aspectos más modernos de la ciencia. Los fenómenos que buscan entender los científicos no son sólo aquellos que vemos con nuestros ojos, tocamos con nuestras manos u oímos con nuestros oídos sino también todo aquello que detectamos mediante instru-

mentos que extienden nuestros sentidos (por ejemplo, telescopios para detectar lo que está muy lejano, microscopios para detectar lo que es muy pequeño, termómetros para detectar temperaturas muy altas o muy bajas). La ciencia actual describe la naturaleza de galaxias lejanas, el inicio del Universo, temperaturas impensables, velocidades inauditas, cosas que pasan dentro de nuestras células y que no podemos ver, y fuerzas que somos incapaces de experimentar con nuestro cuerpo. Sabemos ahora que la luz tiene colores (como el ultravioleta) que no somos capaces de distinguir con nuestros sentidos, porque nuestras investigaciones, teorías e instrumentos nos dicen que así es. El docente de ciencias debe ser extremadamente ducho (y al mismo tiempo cauto) para proveer la evidencia suficiente a fin de convencer al estudiante de que esas “cosas invisibles” existen.

¿Cómo respetar el aspecto empírico de la ciencia en el caso de fenómenos que no podemos observar en el aula? El hecho de que no podamos observarlos no significa que no podamos describirlos. En todos estos casos, deberemos siempre hacernos estas sencillas preguntas: “¿Cómo sabemos que esto es así?” y “¿Cuál es la evidencia que sostiene esta o aquella afirmación?”. A veces las evidencias empíricas de las ideas que afirmamos son fáciles de evocar o de imaginar, pero otras no. Por ejemplo, explicamos los fenómenos que vemos en circuitos eléctricos diciendo que se deben a un flujo de electrones dentro del cable. ¿Cómo sabemos que son electrones los que fluyen dentro del cable (o, para el caso, cómo sabemos que hay “algo” que fluye)? Una excelente práctica para todo docente de ciencias es tratar de indagar cuáles son las evidencias empíricas de cada concepto que se quiere enseñar. Esto muchas veces nos llevará a analizar en detalle los hechos históricos que condujeron a esas ideas.

La historia de la ciencia brinda ejemplos riquísimos acerca de cómo las ideas científicas se construyen a partir de la observación y exploración de fenómenos. Estos ejemplos históricos le dan vida al tema y muestran el drama y la pasión del descubrimiento. Por supuesto, no basta con decir que Boyle vivió en tal época y descubrió esto y aquello sobre los gases. Tendremos que ver cuáles eran las preguntas que se hacía, por qué eran relevantes, qué sabía y qué no podía saber, qué decían sus contemporáneos, qué mostraron sus experimentos, qué cosas sus experimentos *no* mostraron pero eran en principio posibles. Esto ayudará a mostrar que los científicos no consiguen las respuestas simplemente pensando: de alguna manera deben obtenerlas de la realidad.

En suma, para poder aprender a pensar científicamente los estudiantes deben comprender cómo los investigadores formulan ideas para explicar la

realidad que percibimos. No basta con decirles a los estudiantes que la ciencia es empírica; es necesario modelar ese “empiricismo” en cada paso que demos en el aula. Al mismo tiempo, deberemos estar alertas acerca de qué tipo de conductas del docente contradicen el espíritu empírico de la labor científica. Hemos identificado algunas de esas actitudes y hemos propuesto, a lo largo de este capítulo, formas de crear actividades y ambientes en el aula que promuevan tal espíritu.

Para finalizar, resumiremos en el siguiente apartado estas sugerencias, a las cuales cada docente podrá agregar las propias. En los capítulos 2 y 3 discutiremos en detalle dos ejemplos concretos de cómo introducir el aspecto empírico en el aula de ciencias. El capítulo 2 gira en torno del mundo de los fenómenos en la clase de química. En el capítulo 3 se brinda una guía de preguntas para enmarcar actividades destinadas a construir el concepto de carga eléctrica.

PRÁCTICAS PEDAGÓGICAS SUGERIDAS PARA DESTACAR EL ASPECTO EMPÍRICO DE LA CIENCIA

- Brindar la oportunidad a los estudiantes de observar fenómenos y de formar sus propias ideas sobre ellos.
- Usar la secuencia “fenómeno-idea-terminología” al explorar un tema.
- Utilizar preferentemente definiciones operacionales en lugar de definiciones de corte teórico.
- Modificar o refinar conceptos y definiciones de términos sobre la base de nuevas observaciones o ideas.
- Desarrollar ideas a partir de experiencias o prácticas de laboratorio.
- Usar actividades de exploración guiadas que arranquen “desde cero”, es decir, fomentando que los estudiantes construyan sus ideas de acuerdo con lo que perciben.
- Prestar atención a la dinámica del aula; por ejemplo, brindando suficiente tiempo a los alumnos para que piensen y elaboren sus respuestas a las preguntas del docente.
- Poner especial atención en indagar la evidencia empírica que lleva a formular conceptos cuando se trata de fenómenos no observables en el aula.
- Considerar casos históricos, analizando la secuencia de desarrollo de una idea a partir de las observaciones y experimentos e incluyendo la definición y redefinición de términos.

