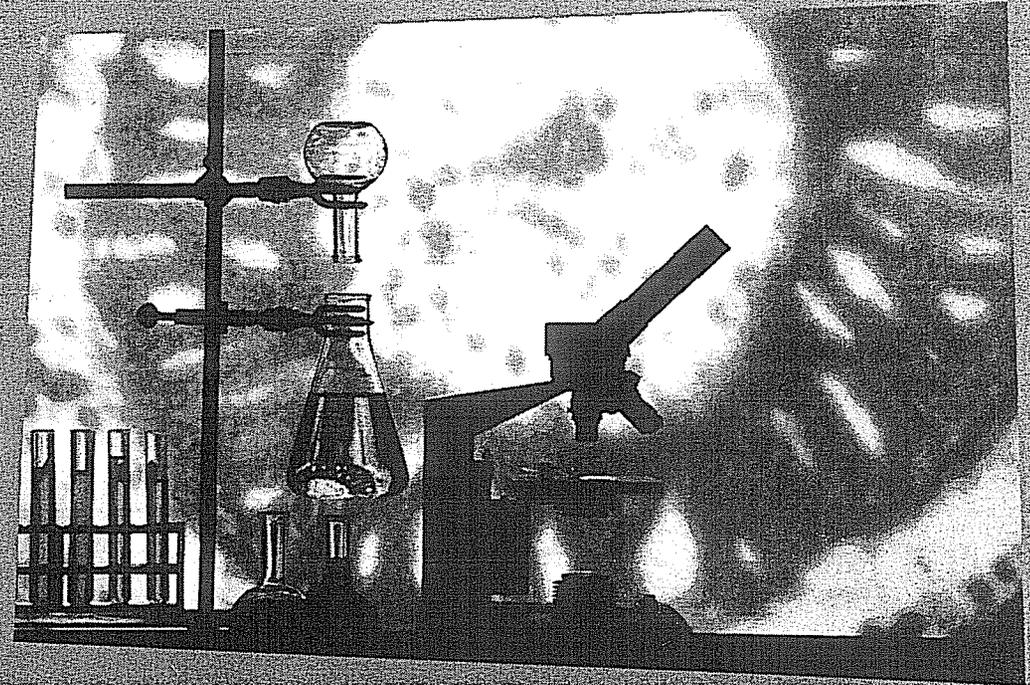




Agustín Adúriz-Bravo

Una introducción a la naturaleza de la ciencia

**La epistemología en la enseñanza
de las ciencias naturales**



AGUSTÍN ADÚRIZ-BRAVO

Una introducción a la naturaleza de la ciencia

La epistemología en la enseñanza
de las ciencias naturales



FONDO DE CULTURA ECONÓMICA

MÉXICO - ARGENTINA - BRASIL - CHILE - COLOMBIA - ESPAÑA
ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA - GUATEMALA - PERÚ - VENEZUELA

Primera edición, 2005

Adúriz-Bravo, Agustín

Una introducción a la naturaleza de la ciencia: La epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales - 1ª ed. - Buenos Aires : Fondo de Cultura Económica, 2005.

104 pp. ; 23x15,5 cm. (Colec. Educación y pedagogía)

ISBN 950-557-655-2

1. Epistemología-Ciencias Naturales 2. Ciencias Naturales-Educación Secundaria. I.

Título

CDD 121 : 507.12

*A mis padres,
JAVIER ADÚRIZ y ANA BRAVO*

© 2005, Fondo de Cultura Económica, S. A.
El Salvador 5665; 1414 Buenos Aires
fondo@fce.com.ar / www.fce.com.ar
Av. Picacho Ajusco 227; 14200 México D. F.

ISBN: 950-557-655-2

Fotocopiar libros está penado por la ley. Prohibida su reproducción total o parcial por cualquier medio de impresión o digital, en forma idéntica, extractada o modificada, en castellano o cualquier otro idioma sin autorización expresa de la editorial.

Impreso en Argentina - *Printed in Argentina*
Hecho el depósito que previene la ley 11.723

Introducción

Este libro se propone acercar dos campos a menudo alejados en la educación secundaria: las *ciencias naturales* y la *epistemología*. En la enseñanza de las ciencias naturales como área, o de cada una de las disciplinas que la conforman, la mirada epistemológica suele aparecer únicamente al comienzo de la programación anual, en la clásica unidad sobre el *método científico*, que luego no es recuperada a lo largo del curso. Por otra parte, la epistemología, cuando participa como contenido formal del currículo, lo hace dentro del área de humanidades, en la asignatura de filosofía, y queda en general reducida a una presentación *histórica* de autores cuyas ideas no se vinculan significativamente con contenidos científicos específicos, más allá de algunos ejemplos paradigmáticos tomados de la física clásica.

Habida cuenta de esta desvinculación inicial, este libro está dirigido principalmente a los profesores de ciencias naturales de secundaria que deseen incorporar una mirada *metacientífica*, “de segundo orden”, a sus asignaturas y no dispongan de materiales adecuados para encarar esa tarea. Puede ser usado también por los profesores de ciencias naturales de todos los demás niveles educativos, desde el inicial al universitario, con las debidas adaptaciones.

También puede resultar útil para los profesores de filosofía de secundaria que quieran conectar el capítulo de epistemología del programa con contenidos de ciencias históricas y actuales. Por último, el libro contiene materiales que quizás contribuyan de alguna manera a un *trabajo integrado* entre las ciencias naturales y la epistemología, por un lado, y la matemática, la lengua, las ciencias sociales y el arte, por el otro, puesto que en él se “reconstruyen” episodios de la historia de la ciencia y se examina el discurso científico.

Este libro no pretende ser un curso de epistemología, dado que de éstos hay muchos y muy buenos, sino un conjunto de actividades de aula para pensar *sobre* las ciencias naturales con el auxilio de las herramientas conceptuales de la llamada *naturaleza de la ciencia*, que es una pujante área de investigación didáctica.

En el capítulo 1 se define esta naturaleza de la ciencia y se presentan las tres grandes perspectivas de análisis metacientífico que serán objeto de los capítulos 2, 3 y 4. Estos capítulos están constituidos por doce actividades di-

dácticas diseñadas para enseñar algunos contenidos de la naturaleza de la ciencia que promueven una mirada sugerente sobre las ciencias naturales.

Todas las actividades de este libro son creaciones del autor, producto de diez años de investigación y docencia en el campo de la *formación epistemológica inicial y continuada del profesorado de ciencias naturales*. Sin embargo, las actividades en su forma final deben muchísimo a la generosa colaboración de gran cantidad de personas: mis profesores, colegas y estudiantes. Entre todos ellos, quisiera agradecer especialmente a Mercè Izquierdo Aymerich, Michael Matthews, Andrea Revel Chion, Rosana Valli, Marta Libedinsky, Elsa Meinardi, Leonardo González Galli, Ana Couló, Lydia Galagovsky, Leonor Bonan, Horacio Tignanelli, Luis Baraldo y Claudia Giribet por sus aportes.

1. La naturaleza de la ciencia en la enseñanza de las ciencias naturales

En los últimos treinta años, los profesores de ciencias naturales (física, química, biología, geología, astronomía...) hemos asistido a una verdadera "revolución" en la enseñanza de nuestras asignaturas. Bajo el rótulo de *didáctica de las ciencias*, gran cantidad de investigadores e innovadores en todo el mundo vienen produciendo y difundiendo ideas, propuestas y materiales que pueden transformar profundamente la forma en que enseñamos las ciencias naturales en los diferentes niveles educativos, especialmente en el nivel secundario. La mejora de la enseñanza de las ciencias discurre hoy en día por diferentes carriles: las prácticas de laboratorio, la resolución de problemas, el lenguaje científico, las nuevas tecnologías y el trabajo con las tan mentadas *ideas previas* son algunas de las líneas de trabajo más conocidas.

Dentro de este panorama de renovación, existe también una línea pujante que trabaja con la intención de incorporar las llamadas *metaciencias* a la enseñanza de las ciencias naturales. El término "metaciencia", construido con el prefijo griego *metà* (con el significado de "más allá") refiere a todas las disciplinas que tienen como objeto de estudio la ciencia; por ejemplo: la epistemología, la historia de la ciencia y la sociología de la ciencia. Estas disciplinas estudian las ciencias naturales desde diferentes perspectivas teóricas, que atienden, entre otras muchas cosas, a cómo son el conocimiento y la actividad científicas, cómo cambia la ciencia a lo largo del tiempo, quiénes han sido los científicos más relevantes de la historia, qué valores sostiene la comunidad científica, cómo se relaciona la ciencia con las demás disciplinas (tecnologías, humanidades, artes) y con las formas no disciplinares de entender el mundo (tales como la religión y el mito).

El interés de la didáctica por las metaciencias proviene del reconocimiento de que ellas pueden contribuir de muy diversas maneras a la enseñanza de las ciencias naturales, pues:

1. proporcionan una reflexión teórica potente sobre qué es el conocimiento científico y cómo se elabora, que permite entender mejor las ciencias, sus alcances y sus límites;

2. se constituyen en una producción intelectual valiosa, que debería formar parte de la cultura integral de los ciudadanos;
3. proveen herramientas de pensamiento y de discurso rigurosas, como la lógica formal;
4. ayudan a superar *obstáculos* en el aprendizaje de los contenidos, métodos y valores científicos;
5. generan ideas, materiales, recursos, enfoques y textos para diseñar la enseñanza de las ciencias; y
6. facilitan la estructuración de los currículos del área de ciencias naturales al permitir identificar los modelos más fundamentales de cada disciplina.

Las investigaciones e innovaciones para incorporar las metaciencias a la enseñanza de las ciencias naturales han generado un área de trabajo por derecho propio dentro de la didáctica de las ciencias, que lleva el nombre de su objeto de reflexión, la *naturaleza de la ciencia*.

Este libro constituye una introducción a esa área de investigación e innovación didácticas desde el punto de vista de sus aportaciones *prácticas* para la mejora de la enseñanza de las ciencias naturales en todos los niveles educativos, especialmente en el nivel secundario, donde las ciencias tienen un espacio curricular privilegiado y están dirigidas a *todos* los estudiantes.

¿Qué es la naturaleza de la ciencia?

En la didáctica de las ciencias hablamos de “naturaleza de la ciencia” para referirnos a un *conjunto de ideas metacientíficas con valor para la enseñanza de las ciencias naturales*. La vaguedad de esta definición es conveniente por varios motivos. Primeramente, porque no separa muy estrictamente entre las diferentes metaciencias de las cuales este campo se nutre (epistemología, historia de la ciencia y sociología de la ciencia), y de este modo evita los conflictos que actualmente existen en la demarcación de los límites entre esas disciplinas académicas. En segundo lugar, porque habla de ideas metacientíficas sin especificar las escuelas teóricas de las cuales ellas provienen, permitiendo mayor flexibilidad y pragmatismo al elegir los contenidos a enseñar. Y en tercer lugar, porque evoca una selección cuidadosamente planificada,

que rescata sólo aquellos elementos que tienen una incidencia positiva en la enseñanza de las ciencias naturales. Por ello, podemos decir que la naturaleza de la ciencia es un genuino intento de acercar las metaciencias a quienes no serán especialistas y de infundir una perspectiva metacientífica en el currículo de ciencias naturales.

Desde nuestro punto de vista, la contribución principal a la naturaleza de la ciencia debería provenir de la epistemología, en tanto reflexión teórica por excelencia sobre la ciencia. En el extenso contacto que tienen con las ciencias naturales quienes no serán especialistas, a lo largo de trece años de escolaridad, resulta interesante generar una imagen crítica sobre el funcionamiento de la ciencia actual, que valore sus alcances y limitaciones. Creemos que tal imagen se construye, fundamentalmente, mediante ideas epistemológicas.

La historia de la ciencia provee lo que llamamos una “ambientación” para esas ideas epistemológicas. La epistemología necesita aplicarse a contenidos científicos, y la historia de la ciencia es una fuente inagotable de episodios paradigmáticos de creación de contenidos con variados niveles de complejidad. Por último, la sociología de la ciencia contribuye con una lúcida llamada de atención contra el dogmatismo y el *cientificismo* de las visiones tradicionales acerca de la ciencia.

Las aportaciones de esta epistemología “auxiliada” por la historia y la sociología de la ciencia a nuestra tarea de enseñar ciencias naturales pueden organizarse en tres grandes campos temáticos o perspectivas de análisis. Llamamos a estos campos “ejes” de la naturaleza de la ciencia; ellos corresponden a grandes rasgos a las tres preguntas fundamentales que podemos hacernos sobre la ciencia:

1. El *eje epistemológico* apunta a determinar qué es la ciencia y cómo se elabora.
2. El *eje histórico* intenta responder a la pregunta de cómo cambia la ciencia en el tiempo.
3. El *eje sociológico* quiere caracterizar la cuestión de cómo se relaciona la ciencia con la sociedad y la cultura.

¿Qué naturaleza de la ciencia se presenta en este libro?

La cuestión de qué naturaleza de la ciencia es la más apropiada para el currículo de ciencias naturales en cada nivel educativo aún no está saldada. A diferencia de la discusión acerca de los contenidos científicos a enseñar, que ha admitido aproximaciones consensuadas en cada reforma educativa, todavía no hay acuerdo unánime acerca de los “contenidos mínimos” de naturaleza de la ciencia que deberían formar parte de la alfabetización científica de todos los ciudadanos. Sin embargo, existen algunas convicciones acerca de qué imagen de ciencia es la más valiosa para la escuela, y esto incluye, por ejemplo, la identificación de algunos *mitos* acerca de la ciencia que se quiere erradicar durante la educación formal.

Pero, aparte de estas líneas generales, hay muy poco más hecho. Por tanto, toda propuesta de introducción de la epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales en secundaria exige la toma de decisiones guiadas por opciones de valor. Nuestra postura al respecto ha sido rescatar, de los últimos cien años, algunas ideas epistemológicas que se distinguen por su potencia para pensar la ciencia. Las ideas, aunque provienen de un amplio abanico de escuelas y autores, sintonizan con una imagen de ciencia que está actualmente vigente, y que podríamos llamar *moderadamente realista y racionalista*.

En primer lugar, la imagen de ciencia que defendemos en este libro es *realista*, en el sentido de que da por sentado que las ciencias naturales dicen algo sobre la estructura profunda del mundo. Sin embargo, adherimos a un realismo moderado, en el cual los modelos científicos no son “copias” directas de la realidad, sino más bien analogías parciales, provisionales y perfectibles sobre algunos aspectos del mundo real seleccionados de acuerdo con las finalidades de intervención que se persiguen. En este sentido, se puede establecer una comparación sugerente si pensamos que los modelos son como los mapas. Ningún mapa “captura” la realidad tal cual ella es; tenemos mapas físicos, políticos, meteorológicos, altimétricos... todos y ninguno de ellos *son* el terreno que modelizan. Son más bien aspectos parciales, *re-presentados* y teóricamente mediados, de ese terreno.

En segundo lugar, la imagen de ciencia que trabajamos aquí es *racionalista*, en tanto supone que hay criterios más o menos objetivos y fiables para evaluar la validez de los modelos científicos. Pero adoptamos un racionalismo mode-

rado, que acepta que estos criterios de validez son inventivos, evolutivos, consensuales. Las ciencias naturales no tienen la “verdad” sobre el mundo real, sino modos potentes y rigurosos de intervenir sobre él con el pensamiento, el discurso y la acción.

El requerimiento de construir una imagen de ciencia con estas dos características nos lleva a seleccionar sólo algunas ideas, escuelas y autores. Esta fuerte selección obedece a nuestro convencimiento de que tal imagen de ciencia ayuda a nuestros estudiantes a generar una postura sobre las ciencias naturales que valore sus impresionantes triunfos intelectuales y materiales, pero que también conozca sus limitaciones y desmitifique el aura de “sacralidad” que suele rodear el conocimiento científico.

Para aprender más

- Sobre la evolución histórica de la epistemología: H. Palma y E. Wolovelsky (2001), *Imágenes de la racionalidad científica*, Buenos Aires, Eudeba.
- Sobre algunas contribuciones de la epistemología a la enseñanza de las ciencias naturales: G. Boido, E. Flichman, J. Yagüe y colaboradores (1988), *Pensamiento científico*, Buenos Aires, CONICET.

¿Cómo se estructura este libro?

Los capítulos 2, 3 y 4 están dedicados a tratar cada uno de los tres ejes de la naturaleza de la ciencia que se enunciaron más arriba: el epistemológico, el histórico y el sociológico. Estos capítulos compilan una serie de actividades didácticas originales que, en última instancia, están pensadas para que usted las utilice en su práctica cotidiana en las aulas de ciencias naturales.

Las actividades tienen una estructura particular, que podríamos llamar “dialógica”: le van proponiendo tareas (en cuadros), que luego se comentan introduciendo conceptos de naturaleza de la ciencia. Las respuestas a las tareas van apareciendo en general en el texto que les sigue, pero la enumeración de las “soluciones correctas” no es de ningún modo exhaustiva.

Las actividades están diseñadas para que usted, en primer lugar, las lleve adelante en un grupo de discusión con sus colegas; en este sentido, notará que son bastante complejas para ser abordadas en forma individual. Las ac-

tividades pueden ser llevadas al aula en las asignaturas de ciencias naturales de los diferentes niveles educativos, *una vez que usted se sienta suficientemente cómodo con los contenidos tratados en ellas*. Naturalmente, todas requieren de una intervención fuerte de su parte para adaptarlas a cada contexto particular (edad, conocimientos previos e intereses de los estudiantes).

Cada actividad se cierra con una sección llamada "Para aprender más", que presenta algunas lecturas seleccionadas que le permiten complementar los temas tratados. Para estas secciones se han seguido tres criterios: que los textos sean de nivel introductorio, sin suponer conocimientos previos de epistemología; que estén en castellano,¹ y que sean libros, puesto que éstos son de más fácil acceso, para los profesores de ciencias naturales, que las publicaciones periódicas especializadas de la didáctica de las ciencias.

Cada actividad presenta una "idea epistemológica", es decir, un modo *teórico* de pensar las ciencias naturales. Algunas de estas ideas han estado presentes en la epistemología desde sus inicios (por ejemplo, la creación científica), otras han sido desarrolladas por la investigación colectiva en epistemología y en didáctica, unas pocas son contribuciones del autor de este libro y de su grupo de investigación e innovación. Por último, hay algunas ideas que tienen una "marca registrada", puesto que se asocian casi exclusivamente al nombre del epistemólogo que las propuso o que las examinó en profundidad. Estas ideas, en su primera aparición en el texto, están en *VERSALES*, y remiten a un glosario al final del libro (el anexo "Ideas con dueño"), donde se definen concisamente haciendo referencia a los autores que mejor las representan.

Poniéndonos de acuerdo

Conviene inicialmente exponer qué sentido damos a algunos de los términos técnicos que usamos en este libro, para claridad del lector, ya que ellos poseen muchos significados, según la escuela o autor que se consulte:

Epistemología: la metaciencia por excelencia. Es la disciplina *científica* que estudia, entre otras cosas, qué son las ciencias, cómo se elaboran, qué dife-

¹ Hay dos excepciones: un libro en gallego y otro en inglés, cuyos contenidos no están disponibles aún en castellano con la claridad y profundidad que esos libros proponen.

rencias tienen con otras formas de conocimiento, cuáles son las características del discurso científico, cómo se produce el cambio conceptual en ciencias, qué valores se sustentan en la ciencia de cada momento. También se la llama "filosofía de la ciencia".

Hipótesis: etimológicamente, es la versión griega de la palabra "suposición".

Punto de partida de la creación científica, surge como respuesta provisoria y conjetural a una pregunta y da lugar a cursos de acción "fructíferos".

Ley: el término se usa en las ciencias por analogía con el derecho. Es la expresión, a menudo matemática, de una regularidad percibida en los fenómenos del mundo natural.

Método: etimológicamente, "camino". Es el conjunto de procedimientos puestos en marcha para llevar adelante la ciencia como actividad. Remite a los espacios de creación, validación, sistematización, comunicación y aceptación del conocimiento científico.

Modelo: en el lenguaje natural (en nuestro caso, el castellano), la palabra "modelo" tiene dos sentidos diametralmente opuestos. Se dice que alguien "pasa como modelo" para una pintura (en este caso, el modelo es la *realidad*) y también se dice que un autito de juguete es un "modelo a escala" de la versión real (en este otro caso, el modelo es la *representación*). En las ciencias naturales se combinan ambas significaciones, puesto que el modelo científico es una representación abstracta de un fenómeno pero se asemeja a muchos otros fenómenos, para entender los cuales sirve de ejemplo característico.

Teoría: etimológicamente, "mirada". Es un conjunto estructurado de ideas abstractas que permiten explicar los fenómenos del mundo natural por referencia a entidades y procesos en gran medida "inventados", pero que guardan una relación compleja e interactiva con la realidad.

Hemos encontrado conveniente repasar estos primeros términos porque ellos sirven de fundamento para las reflexiones que se realizan en el libro. En este sentido, este pequeño diccionario es el vocabulario técnico indispensable de la naturaleza de la ciencia.

Para seguir pensando sobre las relaciones entre la naturaleza de la ciencia y la enseñanza de las ciencias naturales

Cada capítulo se cierra con la sección "Para seguir pensando", que propone lecturas en las que usted encontrará nuevas miradas, más complejas, sobre las ideas expuestas. Se comentan brevemente los libros recomendados.

–M. P. Jiménez Aleixandre (1996), *Dubidar para aprender*, Vigo, Edicións Xerais (en gallego).

Desarrolla más ampliamente una imagen de ciencia rica, compleja y crítica que la autora considera indispensable para la alfabetización científica de todos y todas. Se proponen actividades para el aula.

–R. Duschl (1997), *Renovar la enseñanza de las ciencias. Importancia de las teorías y su desarrollo*, Madrid, Narcea.

Este libro recoge propuestas recientes de la epistemología y muestra sus posibles contribuciones a la enseñanza de las ciencias naturales.

2. ¿Qué es la ciencia y cómo se elabora?

En este capítulo examinamos el primer eje de la naturaleza de la ciencia (el eje epistemológico) alrededor de cuatro cuestiones organizadoras:

1. *Demarcación.* ¿Qué es la ciencia? ¿Qué características tiene el conocimiento científico? ¿Qué lo distingue de otros tipos de conocimiento? ¿Cuál es la forma más típica que asume una explicación científica?
2. *Correspondencia.* ¿Dicen algo las ciencias sobre el mundo natural? ¿Qué relaciones se establecen entre las proposiciones de la ciencia (teorías, modelos, leyes...) y la realidad sobre la que ellas pretenden hablar?
3. *Método.* ¿Cómo se elabora la ciencia? ¿Qué pasos siguen los científicos para crear, validar, sistematizar, comunicar y consensuar nuevo conocimiento?
4. *Racionalidad.* ¿Cómo se garantiza la validez del conocimiento científico? ¿Qué grado de certeza tiene?

El capítulo contiene seis actividades que revisan algunos puntos salientes del eje epistemológico para dar una primera respuesta a estas cuestiones. Las actividades que le proponemos se llaman: "Describame un cromosoma", "El aceite de Lorenzino", "Matías analógico", "Vampiros en Valaquia", "Los descubrimientos del radio" y "La muerte en el Nilo". En ellas se reflexiona sobre el conocimiento científico a través de las ideas de la naturaleza de la ciencia que, en el capítulo 1, identificamos como las más relevantes –a nuestro juicio– para contribuir a la enseñanza de las ciencias naturales.

Describame un cromosoma

Esta actividad tiene como objetivo hacer una primera caracterización de los procedimientos científicos de la *descripción* y la *explicación*. La idea epistemológica que se introduce es la de *procedimiento cognitivolingüístico*.

Cuando hablamos de procedimientos científicos, a menudo pensamos en habilidades o destrezas manipulativas, tales como pesar, diluir, centrifugar, preparar una muestra, observar con instrumentos de distinto grado de sofis-

ticación (como pueden ser los microscopios ópticos, los tubos de rayos X, los resonadores magnéticos nucleares). Otro tipo de acciones que a veces se asocian a la palabra "procedimiento" en ciencias naturales son los tan mentados pasos del método científico: comparar, analizar, comprobar, diseñar un experimento, entre otros muchos. Es menos frecuente que entendamos por procedimientos aquellos procesos cognitivos de alta complejidad que demanda la actividad científica, tales como inferir, deducir, explicar, presentar evidencias, extrapolar.

El cuadro 1 presenta una tarea introductoria que usted puede ensayar con sus colegas o con sus estudiantes para reflexionar sobre la naturaleza de este último tipo de procedimientos científicos. Frente a una figura por el momento incógnita, se piden dos acciones: describirla y explicarla.

CUADRO 1

Observe la figura:



- Primeramente, intente *describir* por escrito lo que ve.
- Luego, por escrito, trate de *explicar* lo que ve en la figura.

(Ayuda para leer después de la tarea: la figura es una microfotografía electrónica del *crossing-over* cromosómico durante la profase I de la meiosis celular;¹ en la foto se pueden observar los *quiasmas*, las uniones entre las dos hebras de ADN.)

Cuando se les pide a profesores y a estudiantes de ciencias que lleven a cabo esta consigna, se obtienen resultados muy diversos. En general, existe una tendencia a tratar de "teorizar", aun en el caso en el que sólo se requiera una descripción. Es decir, la gente que tiene alguna formación en biología o en química (más que los expertos en física) frecuentemente *infiere* que se trata de una imagen de ADN y realiza su descripción "teñida" por esta suposición

¹ B. John (1990), *Meiosis*, Nueva York, Cambridge University Press.

inicial. El resultado es un texto que excede con mucho la descripción estricta, pues utiliza TÉRMINOS TEÓRICOS, de gran nivel de abstracción, tales como "cromosoma" o "molécula".

Por otra parte, la explicación espontánea casi siempre se asocia a la idea de *causalidad*: se intenta explicar dando el porqué de las cosas, y esto generalmente se hace apelando a niveles de organización que están *por debajo* del atribuido a la figura. Así, quien explica a veces intenta asociar un *efecto* (la forma de la figura) con una *causa* subyacente (las uniones eléctricas entre las dos moléculas de ADN).

En líneas generales, quienes se enfrentan a esta tarea muestran dudas acerca del alcance preciso que las acciones de "describir" y "explicar" tienen en las ciencias naturales. Además, las respuestas producidas son de diferente complejidad. Y muchas veces, alguien que cree estar describiendo realiza acciones muy similares a otro que cree estar explicando.

Inspirándonos en avances recientes de la didáctica de las ciencias, hablamos de procedimientos cognitivolingüísticos para referirnos a los procesos o acciones de describir y explicar, entre otros muchos utilizados en las ciencias naturales (por ejemplo: definir, comparar, justificar, refutar). Por un lado, entendemos que son procesos cognitivos de bastante complejidad y elaboración, pero también reconocemos que sólo tenemos acceso a ellos a través del lenguaje científico. Es decir, son todos procedimientos que se *efectúan* en la producción de textos con diferentes géneros o formatos (textos descriptivos, explicativos, argumentativos...). En esta línea, conviene recordar que, cuando hablamos de *textos*, nos referimos a unidades de sentido, sean formuladas en lenguaje escrito u oral. Es decir, lo que dice un estudiante en clase frente a la pregunta "¿qué ves a través del microscopio?" es también un texto, esperablemente descriptivo.

Aunque es difícil caracterizar inequívocamente cada uno de los procedimientos cognitivolingüísticos, estos pueden ser clasificados en dos grandes grupos: los de *primer orden* (describir, definir, resumir, narrar), que activan procesos cognitivos relativamente lineales y resultan en textos bastante sencillos, y los de *segundo orden* (hipotetizar, justificar, explicar, argumentar), que son organizaciones estructuradas de los procedimientos de primer orden y además demandan, en el texto, la utilización de conectores especiales (por ejemplo: "debido a que", "en consecuencia", "sólo si").

Dada la ambigüedad y el solapamiento de significados entre algunos de los procedimientos cognitivolingüísticos (si realizó la tarea que le propusi-

mos, habrá visto cuán fácil resulta deslizar de una descripción “objetiva” a una explicación basada en inferencias), proponemos, como primera aproximación, considerar equivalentes los procedimientos de explicar, justificar y argumentar en ciencias. Estos tres procedimientos están estrechamente ligados a la idea de modelización científica y dan lugar a un texto de alta complejidad, la *argumentación científica*. En la argumentación científica se ponen en correspondencia los fenómenos con los modelos teóricos que les dan sentido. En el caso de la figura, por ejemplo, se explicaría haciendo referencia al *modelo de meiosis*, proceso por el cual se obtienen células con la mitad del material genético pero con “innovaciones” heredables debidas al intercambio de información entre cromosomas homólogos.

En cuanto a la oposición entre describir y explicar, la tarea que le propusimos nos permite ver que la descripción “pura” en ciencias es bastante difícil de encontrar. Incluso las descripciones de los eventos más sencillos que suceden en un laboratorio presuponen la existencia de modelos teóricos con los cuales se mira lo que está sucediendo. Estos modelos proveen un vocabulario (los términos teóricos, como ya mencionamos) que refiere a entidades cuya existencia es más bien hipotética y poco accesible a la observación directa (por ejemplo, “átomo”). A modo de ilustración, en el cuadro 2 le presentamos tres textos que se refieren al mismo fenómeno adoptando tipologías cercanas a la descripción y la explicación científicas.

CUADRO 2

- Discuta cuánto tienen de descriptivo y de explicativo los siguientes textos:
 1. Al calentar la cal de plomo, que es un cuerpo simple, se combina con el flogisto del aire y se obtiene el plomo, que es un cuerpo compuesto.
 2. Al calentar un material sólido opaco se desprende un gas incoloro y queda un material sólido brillante.
 3. Al calentar el óxido de plomo, que es una sustancia compuesta, se libera el oxígeno y se obtiene el plomo metálico, que es una sustancia simple.

En textos científicos predominantemente *explicativos*, como el primero y el último, aparecen los términos tradicionalmente llamados teóricos por los epistemólogos; tales términos refieren a conceptos que tienen sentido únicamente en el seno de un modelo científico. Por ejemplo, “flogisto” y “sustancia simple” son términos teóricos pertenecientes a dos modelos químicos de épocas diferentes: el siglo XVIII y la actualidad.

También convendría decir que estos textos son en realidad formas “compactadas” de la explicación científica clásica, que parte de principios generales y *subsume* los fenómenos particulares.² Por ejemplo, el texto 3 resultaría de la aplicación, a este caso, de un principio químico: *el calentamiento descompone los óxidos de metales pesados*.

¿Y en las clases de ciencias?

La ambigüedad que, en el lenguaje natural, tienen los términos usados para referirnos a los procedimientos cognitivolingüísticos, sumada a la natural complejidad de éstos, debería ser una llamada de atención para nosotros como profesores de ciencias naturales, habida cuenta de que usualmente demandamos a nuestros estudiantes tareas que involucran estos procedimientos, incluso en contextos de evaluación con calificación. La investigación didáctica nos muestra que la resolución satisfactoria de tales tareas se aprende con cierta dificultad y que el rendimiento de los estudiantes frente a ellas es dispar.

Los procedimientos cognitivolingüísticos están presentes en todos los procesos de formulación, aceptación, sistematización y comunicación de las ciencias naturales; por lo tanto, deberían ser objeto de enseñanza en las clases de ciencias aunque no figuren explícitamente en el currículo, puesto que son verdaderos *instrumentos* para la consecución de los demás objetivos. Y, como objetos de enseñanza, requieren de la presentación de *ejemplos paradigmáticos*; es decir, deberíamos mostrar a nuestros estudiantes cómo son una buena descripción o una buena explicación científicas.

² El modelo para esta explicación se conoce como *nomológico-deductivo*, porque requiere de un principio general (*nomos*) y se estructura con una forma lógica determinada. Este modelo fue desarrollado en profundidad por el epistemólogo alemán Carl Hempel.

También es necesaria la realización de ejercitación de práctica. No resulta una idea feliz, entonces, demandar al estudiante en el examen que “justifique su respuesta” si previamente no se ha precisado el alcance de la justificación científica, no se la ha enseñado a través de ejemplos y no se la ha pedido en contextos que no impliquen la calificación y que den lugar al error constructivo.

Como resumen de esta primera actividad señalemos:

1. Los procedimientos cognitivolingüísticos, como cualquier otro procedimiento científico importante, deben ser objeto de enseñanza, aunque a menudo no figuran como contenido prescrito por el currículo de ciencias naturales.
2. Los procedimientos cognitivolingüísticos han de explicitarse (fijando su significado y alcance), ejemplificarse (mostrando textos “modelo”) y ejercitarse (en contextos sin calificación).
3. La *demanda cognitiva* de la explicación es muy alta: requiere la producción de una argumentación científica escolar, que es un texto muy elaborado. Por tanto, deberíamos ser cuidadosos a la hora de pedir en nuestras evaluaciones que los estudiantes expliquen, argumenten o justifiquen.

Para aprender más

- Sobre procedimientos científicos: E. Meinardi y A. Revel Chion, *Una introducción a la didáctica de la biología*, Buenos Aires, en prensa.
- Sobre habilidades cognitivolingüísticas y argumentación científica escolar: J. Jorba, I. Gómez y À. Prat (2000), *Hablar y escribir para aprender. Uso de la lengua en situaciones de enseñanza-aprendizaje desde las áreas curriculares*, Madrid, Síntesis.
- Sobre explicación científica: R. Gaeta, N. Gentile, S. Lucero y N. Robles (1996), *Modelos de explicación científica. Problemas epistemológicos de las ciencias naturales y sociales*, Buenos Aires, Eudeba.

El aceite de Lorenzino

Esta actividad le propone trabajar sobre la película *Lorenzo's oil*³ (1993, dirigida por George Miller), para discutir alrededor de la idea epistemológica de *creación científica*.

La película narra la historia (real) de Lorenzo Odone, un niño estadounidense aquejado por una enfermedad neurodegenerativa rarísima, la *adrenoleucodistrofia* (ALD). La ALD es una enfermedad genética ligada al sexo (esto implica que, por su relación con el cromosoma X, muy frecuentemente son los hombres quienes la padecen, como en el caso de la hemofilia o el daltonismo). Consiste en una alteración del funcionamiento de los mecanismos por los cuales el cuerpo procesa los ácidos grasos de cadena muy larga (contenidos, por ejemplo, en algunos aceites y grasas comestibles). Como consecuencia de esta alteración, se acumulan en el cuerpo ácidos grasos saturados (esto es, sin dobles enlaces entre los átomos de carbono); estos ácidos de alguna manera “atacan” la mielina, la vaina de lípidos y proteínas que recubre los axones neuronales, y permite la conducción veloz de los impulsos nerviosos. La enfermedad a veces se manifiesta en la primera infancia (alrededor de los cuatro años de edad) y es de curso muy rápido: en unos dos años sobreviene la muerte, luego de la pérdida progresiva de todas las funciones del sistema nervioso.

Para arrancar con la actividad, le sugerimos rever la película y discutir las preguntas del cuadro 3 con sus colegas o estudiantes.

CUADRO 3

- Conteste las siguientes preguntas. En la película *Lorenzo's oil*:
 1. ¿Qué se dice sobre la ALD en sus diferentes aspectos (médicos, farmacológicos, psicológicos, familiares, sociales)?
 2. ¿Qué razón se da para explicar que en los Estados Unidos no se investiga para encontrar una cura?
 3. ¿Cómo se describen la composición y el funcionamiento del aceite de Lorenzo?

³ Esta película se conoce en castellano con los nombres de *Un milagro para Lorenzo* y *El aceite de la vida*.

La trama de la película está centrada alrededor de la rebeldía de los padres de Lorenzo, Augusto y Michaela Odone, frente al diagnóstico fatal. El matrimonio Odone no puede creer que la investigación médica no se ocupe de las llamadas *enfermedades huérfanas* debido a su muy baja incidencia en la población, hecho que las relega de los intereses de la poderosa industria farmacéutica.

Hacia la mitad de la película, unas secuencias muestran cómo Augusto Odone va solucionando, sin grandes conocimientos técnicos iniciales, el “enigma bioquímico” de la enfermedad de su hijo. Para ello se vale de dos estrategias creativas de carácter *analógico*: compara los elementos del problema a resolver (los mecanismos moleculares de la ALD) con figuras de la vida cotidiana. En un primer fragmento, Augusto explica el procesamiento normal de los ácidos grasos (tanto saturados como monoinsaturados) comparando el cuerpo humano con una pileta, o fregadero de cocina: en ella hay dispositivos para hacer entrar el agua (los grifos) y dispositivos para hacer salir el agua (los desagües). El nivel de agua en la pileta depende, naturalmente, del *caudal* (es decir, el volumen de agua por unidad de tiempo) que entra por los grifos y sale por los desagües. Análogamente, el cuerpo sano mantiene regulados los niveles de ácidos grasos de cadena muy larga mediante el equilibrio entre lo que es incorporado en la digestión (primer grifo), lo que es sintetizado internamente por elongación de cadenas más cortas (segundo grifo) y lo que es degradado mediante enzimas en los peroxisomas de las células (único desagüe). En el niño enfermo de ALD, el “desagüe” está taponado y, aunque se cierre el primer “grifo” mediante una dieta estricta, el segundo “grifo” sigue abierto, provocando la “inundación”.

La segunda analogía surge como respuesta a la pregunta de por qué los mecanismos de biosíntesis de ácidos grasos saturados y monoinsaturados de cadena muy larga están conectados entre sí. Mientras estudia en la biblioteca, Odone juega con dos cadenas de clips de diferente forma: con cada una de ellas representa la elongación de un tipo de ácido graso. En su juego se obsesiona por desentrañar la relación entre los dos procesos. Poco después, durante un sueño, ve a su hijo Lorenzo tirando de las cadenas: esto le sugiere, según su propio relato, la idea de que el procesamiento de los dos tipos de ácidos grasos es realizado por una única enzima. Con esta suposición, y aplicando el principio biológico de *inhibición competitiva*, los Odone inventan el primer tratamiento para frenar el curso de la ALD: el *aceite de Lorenzo* (una mezcla purificada de dos aceites de cocina, el de oliva y el de colza, que contienen ácidos grasos monoinsaturados de 18 y 22 carbonos respectivamente).

La película nos permite una primera aproximación al proceso de creación en ciencias naturales. En ella se presentan muchos elementos que probablemente usted ha recogido durante la tarea inicial que le propusimos. Dicho sea de paso, la película contiene más material para trabajar sobre la naturaleza de la ciencia, por lo que la retomamos en los próximos capítulos.

Entre los elementos sugeridos, aparece una mirada sobre el llamado **CONTEXTO DE DESCUBRIMIENTO**, es decir, la etapa de investigación en la que ocurren los procesos por los cuales se generan ideas novedosas en las ciencias naturales. Una de las analogías de Odone, según su relato, se le aparece en sueños; esto mismo es alegado por muchos científicos famosos de la historia. El cuadro 4 presenta un texto del químico alemán Friedrich August Kekulé von Stradonitz, en el que él relata cómo se le ocurrió postular, en 1865, una estructura cíclica para la molécula de benceno (C_6H_6).

CUADRO 4

Lea el sueño de Kekulé:

Durante mi estadía en Gante, vivía en un elegante departamento en el edificio principal. Mi estudio, sin embargo, daba hacia un estrecho callejón y la luz del día apenas lo iluminaba. [...] Yo estaba sentado frente a mi libro, pero el trabajo no avanzaba: mis pensamientos volaban por alguna otra parte. Di vuelta mi sillón hacia el fuego y me adormecí. Y de nuevo los átomos empezaron a bailar delante de mí: podía ver largas hileras retorciéndose como si fueran serpientes. Pero... ¡atención! ¿Qué era eso? Una de las serpientes se había retorcido hasta morder su propia cola, y giraba delante de mis ojos como una rueda. Me desperté, como si me hubiera iluminado un potente foco de luz, y utilicé toda la noche trabajando en las consecuencias de esa hipótesis.⁴

- ¿Qué reflexiones le suscita?
- ¿Conoce algunos otros relatos de creación científica?
- Revise algunos relatos míticos: Arquímedes corriendo desnudo (y enjabonado!) por las calles de Siracusa, Galileo lanzando bolas desde la cima de la torre inclinada de Pisa, la caída fortuita de la manzana en el huerto de Newton, las cápsulas de Petri enmohecidas por descuido en el laboratorio de Fleming.

⁴ L. Moledo (1997), *Curiosidades de la ciencia*, Buenos Aires, Sudamericana, p. 96.

Para aprender más

- Sobre herencia ligada al cromosoma X: H. Curtis, N. S. Barnes, A. Schnek y G. Flores (2000), *Biología*, 6ª ed. en español, Buenos Aires, Editorial Médica Panamericana.
- Sobre creación científica: D. Bohm y F. Peat (1988), *Ciencia, orden y creatividad*, Barcelona, Kairós.

Matías analógico

Esta actividad está centrada en explorar el concepto epistemológico de *analogía*, que en la actividad anterior fue identificado como una idea útil para entender las ciencias.

Primeramente, hablamos de las analogías en la vida cotidiana, y luego examinamos su importancia para la construcción y la comunicación de las ciencias naturales.

La analogía es un recurso común del lenguaje y del pensamiento, que consiste en buscar *semejanzas* entre dos situaciones, una conocida y otra novedosa, con el fin de dar sentido a la última por medio de la primera. Las situaciones (o "escenarios") que se comparan tienen una serie de significados asociados, por lo cual son llamadas *campos semánticos*. Llamamos *campo fuente* a la situación conocida que sirve de punto de partida para la analogía y *campo blanco* a la situación de llegada, desconocida, que se quiere iluminar.

El cuadro 5 le presenta varios episodios de la tira cómica *Matías*, del dibujante argentino Sendra, que contienen analogías "de la vida diaria" expresadas en lenguaje natural para que usted las analice con sus colegas o estudiantes.

Observe la primera tira; en ella, Matías compara un tanto cruelmente a su madre, que tiene la costumbre de aplicarse mascarillas de belleza, con un ladrón. El campo fuente, en este caso, son los ladrones, acompañados de todos sus atributos conocidos para Matías. El campo blanco, a explicar, es la madre, con su extraña tendencia a cubrirse la cara con hortalizas en mal estado. La traslación de significados está sugerida por un elemento mediador que existe casi idéntico en ambos campos: la *máscara*. Los elementos de esta analogía se resumen en el cuadro 6.

CUADRO 5

Mire las tiras de Matías que se presentan.⁵



- En cada una de ellas, intente identificar el campo fuente, el campo blanco y el mecanismo analógico.

⁵ Sendra (1993), *Yo, Matías*, 1, Buenos Aires, Ediciones de la Flor.

CUADRO 6

- Complete el cuadro de la analogía entre la madre y el ladrón, mediada por la máscara:

<i>Campo fuente</i>	<i>Campo blanco</i>
ladrón	madre
máscara (media o antifaz)	máscara de belleza
botín	
	heladera (refrigerador)

Como se ve en este cuadro, la analogía madre/ladrón tiene la facultad de dar sentido a algunas conductas (la mamá de Matías quiere “tomar por asalto” la juventud), pero también muestra *limitaciones*: no cualquier característica del ladrón puede ser *proyectada* sobre la madre. Por ejemplo, no se sabe que ella cometa un crimen al dedicarse a la cosmiatría casera.

La analogía como mecanismo de creación de significados ha sido muy usada a lo largo de la historia de las ciencias naturales, tanto en el contexto de producción de nuevo conocimiento científico como en el de comunicación del conocimiento ya establecido (esto incluye, en forma central, la enseñanza de las ciencias en la escuela). Existen diversos tipos de analogías. Examinaremos con más detalle tres de ellos, por su importancia para la tarea de enseñar ciencias.

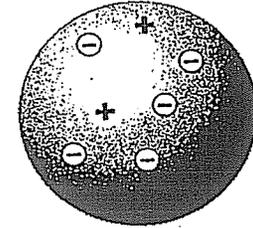
Modelo analógico

Esta es la analogía en su sentido más estricto, en la cual los dos campos tienen contenidos claramente identificables y diferenciados. Cuando usamos este tipo de recurso en ciencias naturales, el campo fuente puede estar ubicado en escenarios muy diversos: la vida cotidiana, la ficción (vehiculizada, por ejemplo, en la literatura o el cine), la historia y, muy frecuentemente, otras ramas de la propia ciencia. Un ejemplo clásico de modelo analógico en ciencias naturales es el *modelo del budín de ciruelas*, propuesto por el Premio Nobel de Física Joseph John Thomson en 1903 para explicar la estructura del átomo (cuadro 7).

CUADRO 7

Ésta es una representación del modelo atómico de Thomson, llamado *budín de ciruelas*.

Thomson propone que la carga positiva del átomo está distribuida uniformemente en una esfera fluida, a modo de budín, en la cual están embebidos los electrones, pequeñas partículas de carga negativa, como si fueran las ciruelas pasas de ese budín.



- Identifique los campos fuente y blanco, y los componentes de la fuente proyectados sobre el blanco.
- ¿Es una analogía entre estructuras o entre funciones? ¿Por qué?
- Señale algunas limitaciones de esta analogía.

En el modelo analógico, se establece una serie de correspondencias (frecuentemente, de naturaleza estructural y funcional) entre ambos campos. Algunas de ellas son muy estrechas; otras, más libres. Pero, dado que los campos tienen contenidos distintos, la búsqueda de correspondencias es finita, y la analogía, limitada. En la enseñanza de las ciencias, la calidad del modelo analógico, entonces, es relativa a su *potencia didáctica*, es decir, a qué tanto puede hacer inteligible el blanco partiendo del conocimiento de la fuente.

Análogo concreto

En este tipo de analogía, el campo fuente no tiene contenido: es únicamente un sistema formal que funciona como análogo estructural o funcional del campo blanco. Es el caso de las maquetas y las *representaciones*, es decir, las recreaciones de modelos abstractos en imágenes. Por ejemplo, los modelos moleculares tridimensionales con los que Watson y Crick iban ensayando posibles configuraciones estereoquímicas de la molécula de ácido desoxirribonucleico (ADN).

En cierto sentido, muchas de las imágenes que se utilizan en ciencias podrían ser consideradas análogos concretos, puesto que no provienen de una observación directa, sino del procesamiento y la representación de datos de al-

guna naturaleza (por ejemplo, química o electromagnética) mediante distintas tecnologías. Ejemplos muy diversos de estas representaciones científicas serían las radiografías, las fotografías de infrarrojos, las tomografías sísmicas, las resonancias magnéticas, los cariotipos, los electroencefalogramas, etcétera.

Epítome

Este último tipo de analogía es aquel en el cual el campo fuente y el campo blanco *comparten el contenido*. La fuente es un ejemplo paradigmático (es decir, un *epítome*) del blanco, que es más genérico, inclusivo y abstracto. Por ejemplo, en la actividad de Lorenzo, el sueño de Kekulé es un epítome de creación científica.

Ahora le pedimos que aplique esta clasificación a algunas analogías muy utilizadas en los libros de texto de ciencias naturales (cuadro 8).

CUADRO 8

- Clasifique las siguientes analogías en modelo analógico, análogo concreto o epítome. Argumente su respuesta.

Analogía	Tipo	Justificación
entre el experimento de la redoma de cuello de cisne de Pasteur y el método científico		
entre el autobús y la <i>regla de Hund</i> (sobre la distribución de electrones en los subniveles de energía del átomo)		
entre el "mosaico fluido" y la membrana celular		

Para aprender más

– Sobre analogías: G. Lakoff y M. Johnson (1986), *Metáforas de la vida cotidiana*, Madrid, Cátedra.

– Sobre el uso de metáforas en la enseñanza de las ciencias: J. Sztrajman y A. Rela, *Una introducción a la enseñanza de la física*, Buenos Aires, en prensa.

– Sobre modelos atómicos: L. Moledo y M. Rudelli (1996), *Dioses y demonios en el átomo. De los rayos X a la bomba atómica*, Buenos Aires, Sudamericana.

Vampiros en Valaquia

Esta actividad trabaja con el folklore centroeuropeo para aprender sobre la idea epistemológica llamada CARGA TEÓRICA DE LA OBSERVACIÓN (idea que se esbozó en la primera actividad). Hemos visto que la observación en ciencias generalmente se apoya en supuestos teóricos que de alguna manera "filtran" lo que se ve y proveen categorías para *pensar, decir y hacer* sobre los fenómenos.

Las leyendas sobre vampiros surgen en Valaquia (región de la actual Rumania) hacia mediados del siglo XV. El folklore valaco inventa la figura del vampiro,⁶ o *no-muerto*, y le da unas características distintivas que, un poco distorsionadas, llegan hasta nuestros días, principalmente a través de la figura de Drácula, el célebre conde de Transilvania creado por el escritor irlandés Bram Stoker a fines del siglo XIX (cuadro 9).

CUADRO 9

Lea el siguiente texto:

Ante mí se presentó un anciano de alta estatura, recién afeitado, con excepción de un largo bigote. Se hallaba *ataviado de negro* desde los pies hasta la cabeza y en su persona no se destacaba otro color. [...] Cuando atravesé el umbral [...] me estrechó la mano *con tal fuerza* que sentí en ella un agudo dolor, ya que, además, aquella mano estaba *tan fría como el hielo*. En lugar de pertenecer a un ser vivo *parecía la mano de un cadáver*. [...] Aquella era la primera ocasión que tenía para [observar al conde] a fondo y me sorprendieron mucho sus acentuados rasgos.

continúa

⁶ *Vampyr* es una palabra eslava sobre cuyo origen y significado hay muchas disputas. Para la Real Academia Española, un vampiro es un "espectro o cadáver que, según cree el vulgo de ciertos países, va por las noches a chupar poco a poco la sangre de los vivos hasta matarlos".

La aquilina nariz realmente le proporcionaba un perfil de águila. El frente era alta y abombada. Los cabellos muy escasos en las sienes, pero abundantes en el resto de la cabeza. Las cejas, muy pobladas, casi se unían en el entrecejo, y eran *de pelo tan hirsuto y abundante* que parecían rizadas. La boca, o al menos la parte que se veía bajo el largo bigote, *mostraba una expresión cruel*. Sus *dientes, muy blancos, eran particularmente puntiagudos*, pues sobresalían de los labios. Estos últimos, *de un color rojo fuerte*, daban señales de una *vitalidad extraordinaria para un hombre de su edad*. Las orejas eran muy blancas y terminaban en punta. Tenía el mentón ancho, señal de energía, y las mejillas un poco hundidas pero firmes. La impresión general que proporcionaba su rostro era la de una *insólita palidez*.

Con anterioridad me había fijado en sus manos y a la luz del fuego me habían parecido blancas y finas, pero al observarlas más detenidamente comprobé que eran bastas, anchas, y con dedos cortos y gruesos. Había en ellas algo increíble. *El centro de la palma estaba cubierto de vello*. Las uñas eran largas y finas, cortadas en punta.

En determinado momento mi anfitrión se inclinó hacia mí, hasta casi tocarme, y no pude evitar un estremecimiento. Ignoro si *padeecía de halitosis*, pero lo cierto es que sentí unas náuseas que no pude disimular.⁷

• Ahora conteste las siguientes preguntas:

1. ¿De quién se habla en este fragmento?
2. ¿Cuáles son las características comúnmente asociadas a los vampiros? (Hemos puesto en cursiva algunas posibles respuestas.)

En el cuadro 10 se listan características típicamente atribuidas a los vampiros en el imaginario popular. Algunas de ellas son necesarias (en el sentido lógico) para la figura del *no-muerto* en tanto ser diabólico: se alimenta de sangre humana, para lo cual necesita dientes afilados; por la naturaleza *non sancta* de sus actividades, sale al amparo de la noche; al no estar ni vivo ni muerto, no le funcionan los espejos; es pálido y malencarado, como corresponde a todo demonio que se precie. Otras características parecen más bien arbitrarias, como su notorio ensañamiento con el ajo o con las rosas.

⁷ B. Stoker (1974), *Drácula*, Barcelona, Bruguera, pp. 42-46.

CUADRO 10

Lea la siguiente lista de atributos de los vampiros:

En Valaquia, los *no-muertos* salen de sus tumbas y caminan entre los vivos. Si se los busca en sus tumbas pocos días después del sepelio, están rozagantes, miran con ojos diabólicos, emiten sonidos siniestros, les rezuma sangre de la boca. Si se los encuentra en pie, tienen aspecto demacrado, palidez de ultratumba, dientes largos, afilados y brillantes (a menudo teñidos en sangre); llevan largas capas negras, son criaturas nocturnas que no soportan el sol; tienen aversión al ajo; les crecen pelos en las palmas de las manos.

- Agregue algunos otros atributos que conozca.
- ¿Qué rasgos de la lista aparecen reflejados en la caracterización que Gary Oldman hace del conde en la película de Francis Ford Coppola *Bram Stoker's Dracula*⁸ (estrenada en 1992)?

La cuestión ahora está en resolver la incongruencia entre dos conocimientos establecidos. Por una parte, sabemos que los vampiros no existen; por otra parte, las “observaciones” listadas en el cuadro están suficientemente repetidas y corroboradas como para no poder atribuirles sólo a la imaginación de los campesinos valacos. Para resolver el problema, comencemos por “descargar” las observaciones de todo contenido valorativo. Por ejemplo, donde dice que los vampiros tienen palidez “de ultratumba” o emiten sonidos “siniestros”, se han colado impresiones subjetivas asociadas al contexto de la leyenda. El cuadro 11 muestra un intento de repetir estas observaciones en forma más neutra (“objetiva”).

Otro problema es que se ha creado la categoría híbrida de *no-muerto* para unificar, bastante arbitrariamente, atributos de los vivos y de los muertos (categorías estas que nuestro sentido común dicta como sensatas). Pero, de hecho, no tenemos pruebas contundentes de que los individuos exhumados y los que caminan entre los vivos sean los mismos. Por tanto, podemos separar ahora las observaciones en dos listas: la de los muertos en sus tumbas y la de los personajes que aterrorizan las noches valacas (cuadro 11).

⁸ Conocida en castellano como *Drácula* o *Drácula de Bram Stoker*.

CUADRO 11

Lista de observaciones más "descargadas" de teoría:

En Valaquia, los muertos enterrados sin ataúd y a poca profundidad tienen tendencia a salirse de sus tumbas. Si se exhuman cadáveres recientes, están hinchados, tienen los ojos abiertos, emiten sonidos cavernosos, les sale un líquido rojizo de la boca.

Por otro lado, personas muy enfermas, reclusas por largo tiempo y a quienes se da por muertas, caminan a veces entre los vivos. Si se las encuentra en pie, tienen aspecto demacrado, palidez exagerada, dientes anormales, defectuosos, de colores raros; llevan ropas largas y oscuras, salen a la sombra, les hace daño el sol; no toleran el ajo; tienen pelo en partes inusuales.

- Póngalas en correspondencia con las del cuadro 10, identificando la carga teórica que tenían inicialmente.

Según lo que se acordó en la actividad de los cromosomas, hemos *descrito* dos tipos de personajes, ahora falta *explicar* las características que tienen. Con los muertos, la tarea parece relativamente sencilla si atribuimos las observaciones al natural proceso de descomposición de los cadáveres. En las primeras dos semanas después de la muerte, los tejidos blandos (por ejemplo, las vísceras en el abdomen) se descomponen más rápidamente que los tejidos duros, generando gases orgánicos (entre ellos, dióxido de carbono y metano). Esto provoca que el cadáver esté hinchado ("tumefacto") y con los ojos abiertos, y emita sonidos extraños. Incluso puede llegar a desenterrarse si está puesto a poca profundidad.

Explicar los "fenómenos de vivos" parece más complicado. ¿A qué podemos atribuir este conjunto tan heterogéneo de características? Existe una enfermedad rara, la *porfiria eritropoyética congénita* (o *mal de Günther*), cuyos síntomas conciben con la descripción de los hombres pálidos de capas negras. Las porfirias son una familia de enfermedades de la sangre de incidencia relativamente baja. Están relacionadas con defectos (hereditarios) en los mecanismos de procesamiento de las *porfirinas*, las sustancias que participan de la síntesis de la hemoglobina de la sangre. En el tipo de porfiria particu-

lar que nombramos, se producen: una anemia severa (por ello la palidez), problemas en los dientes (que a menudo son fluorescentes o rojizos y parecen anormalmente largos por la retracción de las encías), *actinismo* (es decir, intolerancia a la luz solar; de allí la necesidad de salir de noche o con ropas largas y oscuras) e *hipertricosis* (presencia de pelo en lugares poco usuales).

Para avalar la osada hipótesis de que los vampiros renacentistas son nada más que pacientes porfíricos incomprendidos por sus médicos, tenemos otros datos muy sugerentes: las leyendas surgen en un territorio cerrado, rodeado de montañas, donde la endogamia puede aumentar drásticamente la aparición de casos en la población. La incidencia de las porfirias crecería, además, con los casamientos entre parientes consanguíneos, muy practicados entre la nobleza europea... Esto daría cuenta del rancio abolengo de los vampiros más famosos: el príncipe Vlad Tepes Draculea y la condesa Erzsébet Báthory-Nadasdy.

Análogamente a lo que sucede en este ejemplo fantástico, las observaciones y experimentaciones que se hacen en las ciencias naturales están atravesadas por un marco teórico que guía e indica cómo realizarlas. Por ello, una idea epistemológica interesante para trabajar en la enseñanza de las ciencias naturales es la de la carga teórica de la observación. Con ello se quiere significar que toda intervención sobre el mundo natural está dirigida por el modelo teórico dentro del cual se inscribe, que a menudo genera los instrumentos mediante los cuales aquélla se realiza. Es decir que sucede que el aparato con el que obtenemos evidencia de un fenómeno presupone la existencia de dicho fenómeno! Por ejemplo, en la segunda mitad del siglo XX ha sido posible obtener las primeras "fotografías" (análogos concretos, según consensuamos en la actividad de Matías) de los átomos mediante dos instrumentos, conocidos como *microscopio iónico* y *microscopio de efecto túnel*... que están contruidos utilizando como modelo teórico la mecánica cuántica, que por supuesto da por sentado que los átomos existen. Vemos así que teoría y datos se implican de manera interactiva.

En el cuadro 12 se muestran los tres modelos teóricos que "cargan" las observaciones presentadas en esta actividad: son el vampiro, el cadáver putrefacto y el paciente porfírico. Intente ahora identificar el modelo teórico subyacente a alguna intervención paradigmática en ciencias naturales.

CUADRO 12

En esta actividad, los modelos teóricos que cargan las observaciones son:

1. Modelo vampiro. Ser sobrenatural, diabólico, que se alimenta de sangre humana. Se aplica a los no-vivos.
 2. Modelo cadáver en descomposición durante el llamado *período enfisematoso*. Se aplica a los muertos.
 3. Modelo paciente porfirico. Aquejado de una enfermedad genética con síntomas típicos: anemia, actinismo, hipertrichosis. Se aplica a los vivos.
- Expandir la lista presentando el conjunto modelo-observación-instrumento de algún episodio de la historia de la ciencia a su elección.

Para aprender más

- Sobre vampiros: J. Sánchez (comp.) (2003), *Sangre y rosas. Vampiros del siglo XIX*, Barcelona, Ediciones ABRAXAS.
- Sobre porfirias: F. Blanck-Cerejido y M. Cerejido (1997), *La muerte y sus ventajas*, México, Fondo de Cultura Económica.
- Sobre la enseñanza de las teorías y modelos científicos: R. Duschl (1997), *Renovar la enseñanza de las ciencias. Importancia de las teorías y su desarrollo*, Madrid, Narcea.

Los descubrimientos del radio

Esta actividad se centra en algunos rasgos del método científico. En ella trabajamos alrededor de la figura de Marie Curie y reflexionamos sobre las ideas epistemológicas de *descubrimiento científico* e *invención científica*. En el cuadro 13 se presentan algunos elementos de la biografía de Maria Skłodowska, madame Curie.

CUADRO 13

- Busque algunos elementos sobre la vida de Marie Curie en materiales a su alcance (enciclopedias, biografías y películas). Nosotros le presentamos una breve reseña:

1867. Nace en Varsovia (en la Polonia rusa) Maria Skłodowska, la menor de cinco hijos de un profesor y una maestra.
1883. Termina el secundario con honores.
1885. Toma cursos en la "Universidad Volante" en Varsovia.
- 1886-1890. Se coloca como institutriz en casas de familia.
1891. Llega a París para estudiar física en la Sorbona.
1893. Obtiene la licenciatura en ciencias físicas.
1894. Obtiene la licenciatura en ciencias matemáticas. Conoce a Pierre Curie.
1895. Se casa con Curie.
1896. Elige los "rayos uránicos", descubiertos por Henri Becquerel, como su tema de tesis doctoral.
1898. *Descubre el polonio y el radio*.
1900. Accede a una plaza de catedrática en una escuela normal de señoritas en Sèvres.
1902. Obtiene el cloruro de radio.
1903. Presenta su tesis doctoral. Gana el Premio Nobel de Física, compartido con Pierre Curie y Becquerel.
1906. Tras la muerte de Pierre en un accidente, accede a la cátedra que él ocupaba en la Sorbona.
1910. Obtiene el radio metálico junto con André Debierne.
1911. Gana el Premio Nobel de Química. Se abre el Instituto del Radio.
1914. Crea los "coches radiológicos" para asistir a los heridos de guerra.
1921. Viaja a los Estados Unidos, donde le regalan un gramo de radio.
1934. Muere en Francia. Irène y Frédéric Joliot-Curie (su hija y su yerno) descubren la radiactividad artificial.

Fíjese que en nuestra rápida biografía hemos subrayado un evento que probablemente sea el más conocido en la vida de Marie: el descubrimiento del radio. Un ejercicio en apariencia tan simple como determinar la fecha de ese descubrimiento (cuadro 14) nos obliga a reflexiones cuidadosas. Podemos llegar incluso a discutir el significado convencional que damos a los verbos "descubrir" e "inventar".

CUADRO 14

- ¿En cuál de los siguientes momentos diría usted que Marie y Pierre Curie “descubren” el radio? ¿Por qué?
1. En algún momento de abril de 1898, cuando los Curie postulan la existencia de un nuevo radiometal sumamente activo en la peblenda traída de las minas de Joachimsthal (Bohemia).
 2. Más tarde, en 1898, cuando los Curie y el químico Gustave Bémont identifican el “bario radífero” como el residuo activo de la peblenda.
 3. Más tarde aún, en 1898, cuando el físico Eugène Demarçay encuentra una nueva línea espectral en el bario radífero concentrado.
 4. A fines de 1898, cuando aparece por primera vez el término “radio” en un artículo científico.
 5. En 1902, cuando Marie obtiene un decigramo de cloruro de radio casi puro.
 6. Ese mismo año, cuando Marie atribuye al radio un peso atómico de 225.
 7. Recién en 1910, cuando Marie Curie y el químico André Debierne aíslan el radio metálico.
 8. O finalmente en 1911, cuando Marie es oficialmente reconocida por el descubrimiento del radio con el Premio Nobel de Química.

En su sentido más literal, la idea de descubrir implica que algo preexiste y está oculto, a la espera del científico que lo revele. Por ello, parece sensato decir que los Curie “descubrieron” el radio. Sin embargo, los Curie se vieron en la necesidad de postular la existencia de un elemento desconocido, un nuevo radiometal, en un mineral de uranio traído de Bohemia (hoy República Checa) como *hipótesis ad hoc* (es decir, “a medida”) para *salvar los fenómenos*. Se trataba de dar cuenta de los niveles irregulares de radiación de ese mineral, la peblenda, sin tener que renunciar al modelo teórico apoyado por ellos, que identifica la radiactividad como un fenómeno físico. En este sentido, podríamos decir que los Curie “inventan” el radio antes de tenerlo en sus manos como metal; el radio cumple más de tres años de existencia “aceptada” antes de ingresar oficialmente en la tabla periódica, en el grupo de los metales alcalinotérreos.

Siguiendo en esta misma línea de reflexión, el cuadro 15 le propone un ejercicio final de integración que no tiene una respuesta “correcta” y además ¡es bastante difícil! Intente realizarlo con sus colegas o sus estudiantes. Verá que las discusiones encarnizadas entre los partidarios de las diferentes respuestas pronto nos llevan a tener que analizar el significado mismo de la palabra “demostrar”. En realidad, cada uno de los cinco episodios de la historia de la ciencia que se mencionan en el cuadro puede ser reconstruido racionalmente utilizando diferentes verbos: “postular”, “suponer”, “inferir”, “observar”...

CUADRO 15 (DIFÍCIL)

- ¿Quién es la primera persona que *demuestra* que la Tierra es redonda? Marque en la lista y justifique usando el vocabulario introducido en esta actividad:
1. Eratóstenes de Cirene, que calcula su circunferencia midiendo la posición del Sol a la misma hora en diferentes puntos del planeta (Siene y Alejandría, en Egipto, para ser precisos).
 2. Cristóbal Colón, que en 1492 convence a los Reyes Católicos de que el viaje hacia Cipango (Japón) navegando hacia el Oeste es factible.
 3. Jean Bernard Léon Foucault, que en 1851 cuelga un péndulo monumental en el Panteón de París para poner en evidencia la rotación del planeta.
 4. Un anónimo empleado de la NASA, que, a fines de los años cincuenta, procesa por primera vez fotos satelitales mostrando la curvatura de la Tierra.
 5. Yuri Gagarin, que en 1961 mira el planeta desde la ventanita de su cápsula Vostok-1 en órbita.

Por cierto, no hay una respuesta única para esta actividad, pero fíjese que aquí se pone de manifiesto una vez más que muchas de las intervenciones que las ciencias naturales llevan a cabo para mostrar un fenómeno se apoyan en un modelo que ya tiene incorporado ese fenómeno (recuerde el microscopio de efecto túnel). Por ejemplo, medir la circunferencia del planeta as-

tronómicamente, circunnavegarlo y calcular la latitud sobre él mediante un péndulo... son operaciones sensatas para realizar en una Tierra acerca de la que *ya se sabe que es redonda*.

Para aprender más

- Sobre Marie Curie: J. M. Sánchez Ron (2000), *Marie Curie y su tiempo*, Barcelona, Crítica.
- Sobre descubrimientos e invenciones científicas: L. Moledo (1997), *Curiosidades de la ciencia*, Buenos Aires, Sudamericana.

La muerte en el Nilo

En esta última actividad trabajamos sobre la novela *Death on the Nile*⁹ de Agatha Christie, publicada por primera vez en 1937. La idea epistemológica que se discute es la de ABDUCCIÓN. El cuadro 16 contiene algunas preguntas introductorias para situar la discusión en torno del género de la novela policial.

CUADRO 16

- Tómese unos minutos para pensar sobre las siguientes cuestiones:
1. ¿Ha leído alguna vez novelas policiales? Describa la estructura general de este tipo de libros en términos de sus elementos constituyentes: crimen, pistas, distractores, sospechosos, motivo, oportunidad, coartadas, detective, solución.
 2. Intente describir ahora el funcionamiento interno de las novelas policiales. ¿Qué rol cumplen las pistas verdaderas y las falsas? ¿Qué hace el detective?
 3. ¿Es posible averiguar el final a partir de los datos que el autor va dejando a lo largo de la historia? ¿Cómo?
 4. ¿Recuerda algún ejemplo en el cual haya podido dar con la solución basándose en las pruebas presentadas en la novela? ¿Cómo procedió para hacerlo?

⁹ Publicada en castellano con los nombres de *Muerte en el Nilo* y *Poirot en Egipto*.

Para realizar esta actividad con sus colegas o estudiantes, es aconsejable que lea la novela o vea su versión cinematográfica (1978, dirigida por John Guillermin). En el cuadro 17 tiene nuestro apretado resumen de la trama de la novela.

CUADRO 17

Aquí tiene un resumen de la historia:

Durante un lujoso crucero por el río Nilo en Egipto, en la década de 1930, la joven multimillonaria estadounidense Linnet Ridgeway-Doyle es asesinada en su camarote durante la madrugada. Por la mañana, la doncella la encuentra tendida en su cama, con un balazo en la sien. El marido de Linnet, Simon Doyle, y una amiga de ella, Jacqueline de Bellefort, tenían buenos motivos para matarla. Son los principales sospechosos, pero tienen sendas coartadas. Fueron vistos por varios pasajeros discutiendo acaloradamente en el salón del barco (en el piso alto) cerca de la hora del crimen. Jacqueline, histérica y borracha, disparó contra Simon con una pequeña pistola que llevaba en su bolso.

Algunos pasajeros se llevaron a Jacqueline a su habitación, donde le dieron un sedante y la dejaron vigilada por una enfermera. Luego volvieron al salón y encontraron a Simon solo, tendido en el sofá, con una herida en la pierna. Lo llevaron a su camarote y comprobaron que tenía la tibia fracturada por un balazo. A partir de ese momento, y hasta la mañana siguiente, ni Simon ni Jacqueline pudieron haber salido de sus camarotes para cometer el crimen. La pistola de Jacqueline, que ella dejó caer en el salón, no fue encontrada después del incidente.

- Puede completarlo con el libro o con la película.

En el cuadro 18 le presentamos nuestra versión abreviada de la solución (usted puede releerla de la novela, o verla en la última media hora de la película). El subrayado y la numeración que aparecen sirven para las tareas que se presentan más abajo.

Puede verse que, en este tipo de razonamiento, la conclusión, aunque plausible, no tiene por qué ser necesariamente verdadera. Otra característica interesante de la inducción es que puede transformarse en una *predicción*, si la conclusión adopta la forma de un enunciado particular. En el ejemplo anterior:

Mañana saldrá el sol. [conclusión]

Entre los razonamientos no deductivos, también nos parece útil recuperar el llamado *razonamiento analógico*, por su importancia para fundamentar el uso de las analogías y las metáforas en la ciencia. En primera instancia, el razonamiento analógico puede ser identificado, poco rigurosamente, con una forma muy especial de inducción, en la cual se generaliza un *carácter* a todos los miembros de una misma clase por analogía con un miembro típico (que llamamos, según el lenguaje consensuado en la actividad de Matías, el epítome de la clase). Por ejemplo:

Gatúbela (una gata típica) es gorda. [premisa 1]
 Elmyra es gorda. [premisa 2]
 Querusa es gorda. [premisa 3]
 ...
 Marilín es gorda. [premisa n]
 (luego)
 Anouk será gorda. [conclusión en forma de predicción]
 o
 Todas las gatas son gordas. [conclusión en forma de ley]

En un razonamiento como éste, trasladar analógicamente la gordura de Gatúbela a Anouk no es un procedimiento muy fiable, excepto que se dé el caso de que ambas gatas compartan también otros caracteres relevantes (por ejemplo: edad, raza, dieta, hábitos, etc.). Volvemos sobre el tema del razonamiento analógico más abajo.

Muy a menudo se ha presentado la articulación entre inducción y deducción como el pilar del método científico: la inducción lleva a obtener *leyes científicas* ("siempre que pasa esto, pasa esto otro") y la deducción permite *explicar y predecir* ("dado que pasa esto, pasa esto otro"). Nosotros

consideramos que resulta interesante tener en cuenta la contribución de un tercer tipo de razonamiento, el razonamiento *abductivo*, al análisis de la metodología de las ciencias naturales. Una forma relativamente fácil de entender la tríada deducción-inducción-abducción es recurrir al ejemplo de los "porotos de Peirce" (bautizados en honor al semiólogo estadounidense Charles Sanders Peirce, de principios del siglo pasado). Es decir, le presentamos los tres tipos de razonamiento como permutaciones de las tres mismas proposiciones, que asumen alternativamente el lugar de premisas y conclusiones (cuadro 19).

CUADRO 19

A continuación se transcriben tres tipos de razonamiento elaborados por el epistemólogo argentino Juan Samaja inspirado en la presentación clásica de Peirce:¹⁰

Todos los porotos de esta bolsa son blancos. Estos porotos son de esta bolsa.	Estos porotos son de esta bolsa. Estos porotos son blancos.	Todos los porotos de esta bolsa son blancos. Estos porotos son blancos.
(luego) Estos porotos son blancos.	(luego) Todos los porotos de esta bolsa son blancos.	(luego) Estos porotos son de esta bolsa.

- Trate de identificar, con lo que ya se dijo, la deducción y la inducción y –por descarte– la abducción.

¹⁰ J. Samaja (1993), *Epistemología y metodología. Elementos para una teoría de la investigación científica*, Buenos Aires, Eudeba.

Es fácil ver que la conclusión de una abducción (tercera columna del cuadro) no tiene por qué ser verdadera: el solo hecho de ser blanco no garantiza que el poroto provenga de esa bolsa en particular. El razonamiento es plausible sólo si el poroto nuevo y los de la bolsa comparten muchos caracteres comunes (vuelva a las gatas). O dicho de otra forma, si el poroto nuevo se parece mucho al epítome de poroto de la bolsa.

Note entonces la simetría que se establece entre analogía y abducción. Para mostrarlo más elocuentemente, le presentaremos el razonamiento felino bastante cambiado, a fin de que se ajuste más estrictamente a la idea de analogía desde la lógica:

Gatúbela, una gata típica, es querible, juega con los pulóveres y se sube al sofá. [premisa 1]

Gatúbela está pasada de peso y ama el paté. [premisa 2]

La gata Marilín es querible, juega con los pulóveres y se sube al sofá. [premisa 3]

(luego)

Marilín está pasada de peso y ama el paté. [conclusión]

Este mismo razonamiento también puede llevar a:

Toda gata querible, que juega con los pulóveres y se sube al sofá está pasada de peso y ama el paté. [conclusión "categorial"]

o

Si una gata es querible, juega con los pulóveres y se sube al sofá, entonces está pasada de peso y ama el paté.

[conclusión "condicional"]

El paralelo que puede hacerse entre analogía y abducción, un poco "trabajado", es el siguiente:

Analogía	Abducción
Gatúbela tiene los caracteres a_1, a_2, \dots, a_n .	Si la gata x tiene los caracteres a_1, a_2, \dots, a_n , entonces tiene también los caracteres b_1, b_2, \dots, b_m .
Gatúbela tiene los caracteres b_1, b_2, \dots, b_m .	Gatúbela tiene los caracteres b_1, b_2, \dots, b_m .
(luego)	(luego)
Si la gata x tiene los caracteres a_1, a_2, \dots, a_n , entonces tiene también los caracteres b_1, b_2, \dots, b_m .	Gatúbela tiene los caracteres a_1, a_2, \dots, a_n .

Ésta es la llamada "forma condicional" de los razonamientos, puesto que en ella aparece, como premisa o como conclusión, una *proposición condicional*:

Si [antecedente], entonces [consecuente].

O, más formalmente:

Si A, entonces C

Verá que la "validez" de una analogía o de una abducción depende fuertemente de la naturaleza de los conjuntos de caracteres a_i y b_i .

La importancia que queremos otorgar al razonamiento abductivo en las ciencias naturales proviene de que éste expresa, de alguna manera, el mecanismo de *modelización*: se tiene una clase, representada por un ejemplo paradigmático, el epítome, que funciona como modelo. Un cierto fenómeno novedoso se adscribe al modelo debido a su parecido con el epítome de la clase. En el ejemplo del cuadro 19, un nuevo poroto (*fenómeno*) es adscrito a la bolsa (*clase*) debido a que comparte el ser blanco (*carácter*) con un ejemplo típico, más bien abstracto, de poroto de la bolsa (*modelo*).

Somos ahora capaces de dar el último paso antes de reflexionar sobre la novela policial con el auxilio de la lógica formal. Transformemos el ejemplo socrático en un *silogismo condicional*:

Razonamiento	Formalización
Si x es hombre, x es mortal.	Si A, entonces C
Sócrates es hombre.	A
(luego)	(luego)
Sócrates es mortal.	C

Volvamos a Egipto

Ahora ponemos en marcha este tinglado lógico para mostrar la oposición entre una explicación trivial (cuando ya se conocen los hechos) y una modelización, cuando se intenta dar sentido a un fenómeno intrigante. Partimos de la base de que ya conocemos la trama de la novela (cuadro 17) y que nos contaron el final (cuadro 18); estamos, por decirlo así, en la posición *omnisciente* ("sabelotodo") de la autora. Nos resulta fácil, entonces, construir pruebas que, diseminadas a lo largo del libro, ayudarán a los potenciales lectores a dar con la solución (cuadro 20).

CUADRO 20

• Conteste las siguientes preguntas para simular el proceso de construcción de las pruebas:

1. ¿Qué tendría que haber oído alguien situado en el piso bajo del buque inmediatamente debajo del salón a la hora del crimen?
2. ¿En qué estado estaría la estola si fuese recuperada del Nilo?
3. ¿De qué color estaría manchado el pañuelo recuperado del Nilo después de varios días?
4. ¿Que habrían encontrado en el salón si lo hubiesen registrado minuciosamente después de la falsa pelea entre Simon y Jacqueline?

En el cuadro 21 aparecen las respuestas a las cuatro preguntas tomadas textualmente de la novela. Una pregunta particularmente difícil de contestar es la del pañuelo, puesto que usted cuenta con información insuficiente y además probablemente no se lo ha situado en el contexto histórico. En un momento de sus pesquisas, Poirot encuentra un frasco de esmalte de uñas con la etiqueta que dice que es de color rosa, pero que contiene en su interior unas gotas de un líquido rojo fuerte con olor a vinagre. Se trata de la tinta de pluma usada en la época de la historia (años treinta del siglo pasado), que al lavarse con agua deja manchas rosadas.

CUADRO 21

- Compare sus respuestas con las que Agatha Christie da en la novela:¹¹
1. "Sí, me pareció oír un chapoteo y alguien que corría... o fue al revés" (p. 144).
 2. "Cogió la estola de terciopelo empapada y la alisó sobre la mesa. Su dedo indicó las señales de chamuscamiento y los agujeros quemados" (pp. 160-161).
 3. "Desenvolvió pliegue tras pliegue el terciopelo mojado. De él cayó un pañuelo basto, con manchas de color rosa" (p. 148).
 4. "—¿Qué sucedió a la primera bala disparada por la muchacha contra Doyle?
—Creo que fue a aplastarse en la mesa. Hay allí un agujero hecho recientemente" (p. 231).

Es posible ver ahora que la relación entre los hechos (narrados en la solución) y las respuestas a las preguntas es de naturaleza *deductiva*: conociendo el final de la novela se pueden inferir más o menos fácilmente las pistas. La aplicación del esquema deductivo a la pregunta 1 del cuadro 20 sería un proceso como el siguiente (las premisas son las marcadas con el número 1 en el resumen del cuadro 17):

Cuando queda solo, Simon corre por la pasarela hasta el camarote de Linnet y luego de vuelta al salón. [premisa 1]

Simon arroja por la ventana el paquete a las aguas del Nilo. [premisa 2]

Ideas sencillas de acústica. [premisa implícita]

(luego)

Se podrían haber oído pasos y un chapoteo en el agua. [conclusiones 1 y 2]

Sin embargo, la novela presenta a un detective que no conoce los hechos y que de alguna manera los reconstruye a partir de las pistas, a partir de un razonamiento abductivo. La aplicación del esquema abductivo al mismo ejemplo sería:

¹¹ A. Christie (1997), *Poirot en Egipto*, Barcelona, El Molino.

Se oyeron pasos furtivos y un chapoteo ominoso en el agua.

[premisas 1 y 2]

Ideas sencillas de acústica. [premisa implícita]

(luego)

Alguien corrió por la pasarela [hasta el camarote de Linnet].

[conclusión 1]

Alguien arrojó algo [por la ventana] a las aguas del Nilo.

[conclusión 2]

Usted dirá que esto no se parece mucho a la abducción en la forma en que la presentamos más arriba. La trampa está en la sonora premisa implícita, que es la cláusula condicional faltante:

Si alguien corre descalzo por una planchada de madera y alguien arroja un paquete lastrado a las aguas del Nilo, entonces se oyen pasos furtivos y un chapoteo ominoso. (Note que esta cláusula está cargada de teoría. ¿Cómo la descargaría?)

Ahora está usted en condiciones de comparar los mecanismos de explicación *a posteriori* (cuando se conocen todos los hechos) y de planteamiento de una solución hipotética. Es decir, las deducciones de Agatha Christie con las abducciones de Hercule Poirot (cuadro 22).

CUADRO 22

- ¿Cómo cree usted que construyó Agatha Christie la novela? Céntrate especialmente en la relación lógica entre crimen, pruebas y solución.
- ¿Qué tipo de razonamiento utilizó probablemente la autora para derivar las pruebas? Remítase a las cuatro preguntas que trabajó sobre el resumen.
- ¿Qué tipo de razonamiento atribuyó al detective Poirot para “ascender” de las pruebas al crimen? Compárelo con el razonamiento del punto anterior.

continúa

continuación

Examine esta comparación entre las inferencias de Agatha Christie y Hercule Poirot:

Razonamientos	Agatha Christie	Hercule Poirot
Premisa	Simon corrió por la cubierta superior hasta el camarote de Linnet.	Desde la cubierta inferior se podrían haber escuchado pasos.
Conclusión	Desde la cubierta inferior efectivamente se escucharon pasos.	Alguien corrió por la cubierta superior hasta el camarote de Linnet.

• Con base en ella, discuta estas puntualizaciones:

1. Para la deducción de “efectivamente se escucharon pasos” hacen falta más premisas (por ejemplo, plantear la presencia de un testigo).
2. Para la abducción de “Simon corrió hasta el camarote de Linnet” hacen falta más premisas (hasta ahora podría haber sido cualquier pasajero del buque).

Le queda como tarea reconstruir y comparar las deducciones y abducciones asociadas a las otras pruebas (la estola, el pañuelo y la bala). Recuerde que la proposición condicional (Si A, entonces C) es siempre una de las premisas, pero a menudo está implícita e involucra principios físicos o químicos sencillos (“Si se dispara una bala a través de una estola de terciopelo plegada, deja agujeros y chamuscamiento”). Por otro lado, el antecedente A es premisa en el razonamiento deductivo y conclusión en el abductivo; e inversamente, el consecuente C es premisa en el razonamiento abductivo y conclusión en el deductivo.

Reconstrucción abductiva de un episodio de la historia de la ciencia

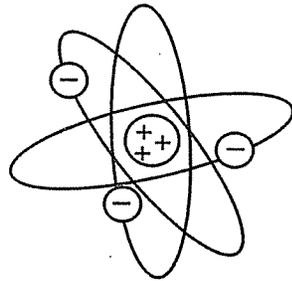
Ahora, mediante una analogía, se pueden transportar estas ideas sobre abducción al campo blanco, la investigación científica. En el cuadro 23 retomamos un episodio de la historia de la ciencia que ya apareció en la actividad de Matías: las investigaciones sobre la estructura atómica.

CUADRO 23

- Busque información acerca de la transición entre los modelos atómicos de Thomson y Rutherford.

Aquí tiene algunos elementos:

1. A principios del siglo xx (probablemente en 1903), Joseph John Thomson, en Cambridge (Reino Unido), propone el modelo del budín de ciruelas para el átomo.
2. En 1908, Hans Geiger realiza un experimento de *scattering* (dispersión). Bombardea una lámina de oro muy delgada con partículas alfa provenientes de un material radiactivo y verifica que algunas de las partículas se desvían en pequeños ángulos después de atravesar la pantalla.
3. En 1909, Ernest Mardsen repite el experimento de *scattering*, pero esta vez prestando atención a las partículas que se desvían en grandes ángulos (incluso observa que algunas, muy pocas, rebotan).
4. Basándose en estos resultados, Ernest Rutherford, en Manchester (Reino Unido), propone en 1911 el *modelo del sistema planetario* para el átomo: un núcleo pequeñísimo con toda la carga positiva y los electrones en órbita alrededor de él, como los planetas alrededor del Sol:



La construcción de un razonamiento abductivo en forma de silogismo condicional es relativamente sencilla cuando se conoce la ley que hay detrás, como pudo usted ver a través de la tarea del cuadro 22. La cuestión está entonces en identificar esa premisa condicional en el episodio de los modelos atómicos.

En este ejemplo que estamos analizando, la ley subyacente proviene probablemente de una analogía establecida entre el sistema submicroscópico (el experimento de *scattering*) y un sistema macroscópico en el que se ensaya un bombardeo mecánico.

Nuestra afirmación es sensata si se tienen en cuenta las palabras del propio Rutherford (cuadro 24). Por tanto, se trata de *analogar* la estructura atómica de la lámina de oro con una malla regular del tipo de un tejido de alambre: grandes espacios vacíos y delgados obstáculos dispuestos en un patrón geométrico.

CUADRO 24

Lord Rutherford de Nelson comenta en una conferencia:¹²

Era la cosa más increíble que me haya pasado en mi vida. Casi tan increíble como si dispararas un proyectil de 15 pulgadas contra una hoja de papel de seda y éste rebotara y te golpeará.

- Argumente: ¿por qué cree usted que decimos que este texto apoya nuestra suposición de que se establece una analogía mecánica para interpretar el experimento de *scattering*?
- ¿En qué aspectos se comparan el budín de Thomson y el papel de seda?

Con todos estos elementos, la reconstrucción abductiva de la creación del modelo de Rutherford sería más o menos la siguiente:

¹² J. Needham y W. Pagel (comps.) (1938), *Background to modern science*, Cambridge, Cambridge University Press.

Si la lámina de oro fuese un arreglo regular de núcleos y de espacios internucleares casi vacíos, las partículas alfa atravesarían o rebotarían con diversos ángulos. Las partículas alfa atraviesan o rebotan con diversos ángulos.

(luego)

La lámina de oro es un arreglo regular de núcleos y de espacios internucleares casi vacíos.

Ahora le proponemos volver sobre la actividad de Marie Curie y reconstruir abductivamente la “invención” del radio. El conocimiento establecido es que la “emisión” de un material radiactivo es característica de este material, y proporcional a la masa. El dato anómalo es que la peblenda es más activa que todo el óxido uranio que contiene. De allí se *abduce* la existencia del radio (y del polonio) en pequeñísimas cantidades en la peblenda:

Si hubiera un nuevo radiometal sumamente activo en forma de trazas en la peblenda, ésta sería más activa que su propio peso en óxido de uranio.

La peblenda es más activa que su propio peso en óxido de uranio.

(luego)

Hay un nuevo radiometal sumamente activo en forma de trazas en la peblenda.

Nuestra reconstrucción abductiva puede dar cuenta de la propia comunicación de Marie a la Academia, hecha por el profesor Lippman en abril de 1898:

Dos minerales de uranio –la peblenda (un óxido de uranio) y la calcolita (fosfato de cobre y uranio)– son mucho más activos que el propio uranio. Este hecho es muy notable y *lleva a creer que* esos minerales pueden contener un elemento mucho más activo que el uranio. Preparé calcolita por el proceso de Debray con productos puros; esa calcolita artificial no es más activa que otras sales de uranio.¹³

Note la expresión subrayada por nosotros, que puede dar cuenta del *salto creativo* propio de una abducción.

¹³ M. Curie (1898), “Rayons émis par les composés de l’uranium et du thorium”, en: *Comptes Rendus*, núm. 126, pp. 1101-1103.

Para aprender más

- Sobre novelas de detectives: A. Martín Velasco (1998), *Los venenos en la literatura policíaca*, Valladolid, Universidad de Valladolid.
- Sobre lógica: F. Pizarro (1986), *Aprender a razonar*, Madrid, Alhambra.
- Sobre abducción: V. Durante (1999), *No-st estoy de acuerdo. Claves de la argumentación*, Buenos Aires, Kapelusz.
- Sobre modelos atómicos: A. Römer (1965), *El átomo inquieto*, Buenos Aires, Eudeba.
- Sobre método científico: E. Flichman, H. Miguel, J. Paruelo, y G. Pissinis (comps.) (1999), *Las raíces y los frutos. Temas de filosofía de la ciencia*, Buenos Aires, CCC-Educando.

¿Qué sabemos ahora sobre el primer eje?

Las seis actividades presentadas en este capítulo nos han ido aportando una serie de elementos epistemológicos que se incluyen en las cuatro cuestiones iniciales. Un ejercicio interesante es volver atrás y tratar de identificar cuáles son los elementos presentados en cada actividad y a qué cuestiones dan respuesta (cuadro 25).

CUADRO 25

- Elabore un cuadro en el cual clasifique las ideas epistemológicas tratadas en las actividades de este capítulo en cada una de las cuestiones de la introducción (demarcación, correspondencia, método y racionalidad).

En la línea de caracterizar el conocimiento científico (demarcación), hemos mostrado que éste no es completamente “objetivo”, en el sentido de que está sesgado parcialmente por la mirada teórica del observador. Las intervenciones sobre el mundo natural están apoyadas en modelos teóricos que subyacen a la CONSTRUCCIÓN DE LOS HECHOS CIENTÍFICOS. Es decir, los hechos

científicos son *hechos-en-un-modelo*. Por ejemplo, la *precesión* del péndulo de Foucault (esto es, la lenta rotación de su plano de oscilación) es una evidencia del movimiento de la Tierra cuando se lee desde el marco de la mecánica newtoniana, con su *principio de conservación del momento angular*.

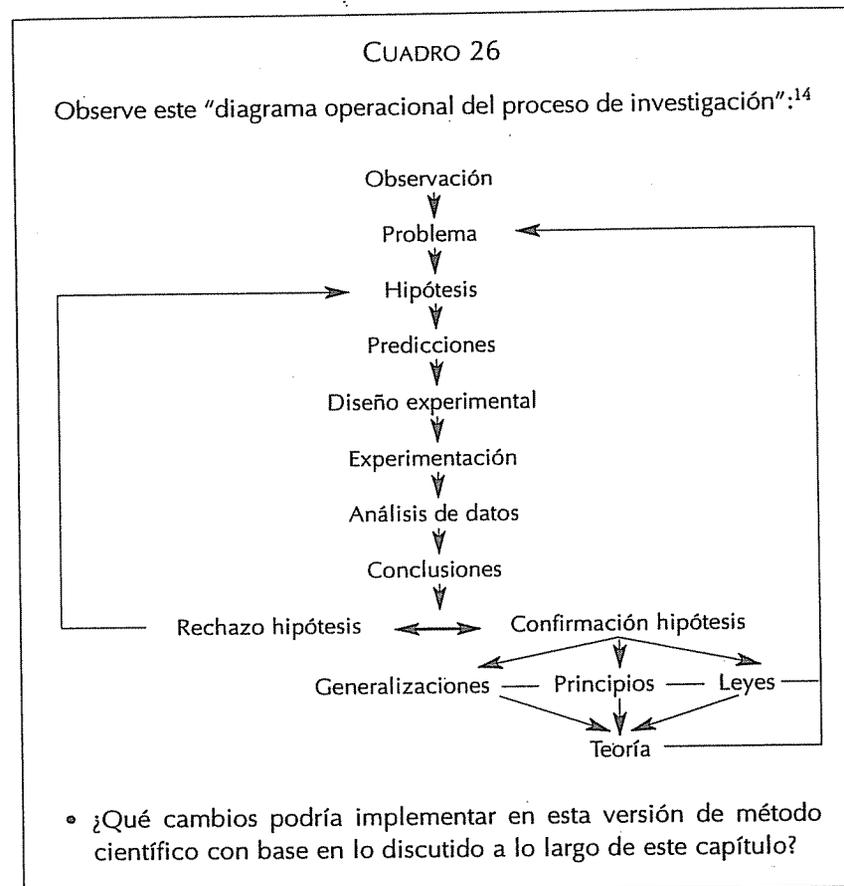
En la línea de relacionar el conocimiento científico con la realidad (correspondencia), vimos que los modelos científicos son analogías altamente teóricas sobre el mundo natural, cuyo parecido es parcial y perfectible. El modelo del budín de ciruelas, por ejemplo, es una primera aproximación que da cuenta de que al átomo se le pueden sacar o agregar electrones con cierta facilidad (fenómeno de *ionización*), pero que no puede explicar los resultados de los experimentos de *scattering*.

En la línea de caracterizar los procedimientos científicos (método), hemos tratado de mostrar que la abducción es un tipo de inferencia que permite reconstruir satisfactoriamente algunos episodios conocidos de la historia de la ciencia: el descubrimiento del radio y la postulación del modelo atómico planetario. También hemos echado una mirada al contexto de descubrimiento, intentando ver qué mecanismos pueden estar en juego en la creación científica. Comparamos así a Augusto Odone con Kekulé.

En la línea de determinar cuán fiable es el conocimiento científico (racionalidad), hemos visto que éste está sujeto a un constante proceso de crítica y refinamiento, a través de contrastar sus consecuencias con la evidencia empírica que va surgiendo. Por ejemplo, la explicación sobrenatural del vampirismo es reemplazada, a su debido tiempo, por una explicación médica.

Contra el método

Este ejercicio final proporciona el puente hacia el próximo capítulo, en el cual examinamos el problema del cambio en la ciencia. El cuadro 26 presenta una versión clásica de método científico, debida al profesor de ciencias José María Mautino, que es similar a la que se puede encontrar en cualquier libro de texto de ciencias naturales de secundaria de las décadas de 1970 y 1980. Se le propone, con sus colegas o estudiantes, cuestionar algunos aspectos insuficientes de este método utilizando para ello lo discutido en este capítulo.



Conviene dejar en claro que no cuestionamos la utilidad de presentar un método algorítmico estándar como recurso didáctico para las clases de ciencias naturales de secundaria. Se trata de una guía interesante, si se la usa para reconstruir racionalmente episodios de la historia de la ciencia y se la "revive" en las actividades de laboratorio.

Nuestra recomendación es, sin embargo, mostrar las limitaciones de este tipo de versiones inamovibles de método, favoreciendo así una mirada crítica sobre la naturaleza de la ciencia.

¹⁴ J. M. Mautino (1993), *Fisicoquímica 3*, Buenos Aires, Stella, p. 17.

Algunas cuestiones que se pueden señalar sobre esta visión del método científico, a la luz de lo recorrido en este capítulo, podrían ser las siguientes:

1. La observación pura no puede ser el primer paso del método, dado que ésta no existe sin carga teórica.
2. El paso del planteamiento de hipótesis está formulado en forma genérica: no se dice por qué caminos creativos se generan las hipótesis como enunciados teóricos. Aquí podrían entrar en juego mecanismos tales como la analogía, la abducción y la argumentación.
3. La modelización científica es un proceso complejo, que hemos intentado reconstruir, en primera instancia, mediante el método abductivo. Pero esta reconstrucción nos ha mostrado que la relación entre evidencias y modelos (o realidad y predicación) es compleja e interactiva. Por ello, tanto la confirmación como la refutación de las ideas puestas en contraste con los datos extraídos de la observación y la experimentación, retroalimentan el ciclo y aportan conocimiento. Una asimetría tan marcada entre *verificación* y *falsación* es, por tanto, empobrecedora.

Para seguir pensando sobre el eje epistemológico

- A. Chalmers (1982), *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?*, Madrid, Siglo XXI. Este libro de Alan Chalmers continúa siendo la introducción más accesible a la epistemología para todos los públicos.
- C. Hempel (1973), *Filosofía de la ciencia natural*, Madrid, Alianza. También es muy recomendable como lectura introductoria. En este clásico se reconstruye racionalmente un episodio famoso de la historia de la ciencia (el “caso Semmelweis”) útil para aprender sobre el método científico.
- G. Klimovsky (1994), *Las desventuras del conocimiento científico. Una introducción a la epistemología*, Buenos Aires, AZ Editora. Bastante más complejo que los anteriores; constituye un primer curso completo de epistemología de nivel universitario.
- A. Estany (1993), *Introducción a la filosofía de la ciencia*, Barcelona, Crítica. Ésta es una introducción temática a la epistemología, que desarrolla con profundidad la idea de explicación científica.

3. ¿Cómo cambia la ciencia?

En este capítulo estudiamos el segundo eje de la naturaleza de la ciencia (el eje histórico) alrededor de cuatro cuestiones organizadoras:

1. *Innovación*. ¿Cómo se producen novedades en las ciencias?
2. *Evolución*. ¿Cómo cambia el conocimiento científico? ¿Cuáles son las “unidades” del cambio (conceptos, modelos, teorías, paradigmas, etcétera)?
3. *Juicio*. ¿Cómo hacen los científicos para decidir sobre los nuevos modelos? ¿Y para elegir entre modelos rivales? ¿Qué rol juegan el científico individual y la comunidad científica en el cambio?
4. *Intervención*. ¿Cómo incide el nuevo conocimiento científico en las formas de pensar, hablar y actuar sobre el mundo?

El capítulo contiene tres actividades que recorren algunos aspectos del eje histórico en busca de proporcionar una primera aproximación a estas cuestiones. Las actividades que le presentamos se llaman: “El guiso fantasmagórico”, “El impertinente péndulo de Richer” y “Disputas de farmacéuticos”. En ellas se recuperan nuevamente aquellos modelos de la naturaleza de la ciencia que, en el capítulo 1, identificamos como los más valiosos para ayudar a la enseñanza de las ciencias naturales.

El guiso fantasmagórico

Esta primera actividad revisa algunas relaciones entre investigación, innovación e intervención. Se introduce la idea epistemológica de TECNOCIENCIA.

El Premio Nobel de Química de 1943, George de Hevesy, cuenta en uno de sus libros una divertida anécdota sobre sus años de juventud en Manchester.¹ De Hevesy, como muchos jóvenes que hacen estudios científicos en el extranjero, pasaba estrecheces económicas y vivía en una pensión modesta. La deprimente chatura del menú de la pensión lo llevó a sospechar que la patrona “reciclaba” las sobras convirtiéndolas en unos guisos de consistencia deplorable.

¹ G. de Hevesy (1962), *Adventures in radioisotope research*, Nueva York, Pergamon Press.

rable. Para probar su conjetura bromatológica, el joven se consiguió, del laboratorio de Lord Rutherford donde trabajaba en 1911 –año de la anécdota–, una pequeña cantidad de una sustancia radiactiva (el entonces *radio-D*, que actualmente llamamos plomo-210) y la añadió a las sobras de su cena, dejadas *ex profeso* sobre el plato. A los pocos días, y por medio de un dispositivo muy sencillo –un electroscopio de hojuelas de oro– mostró el poder ionizante del *soufflé* servido como plato principal y desenmascaró a la ahorrativa patrona. Ella, naturalmente, se sintió morir y lo echó de inmediato de la pensión.

Ahora, a partir de lo trabajado en las actividades de Marie Curie y Agatha Christie, usted está en condiciones de hacer una nueva lectura epistemológica de la primera aparición de los *marcadores radiactivos*² en la historia de la ciencia (cuadro 1).

CUADRO 1

Trabaje sobre la anécdota de Manchester con nuestra reconstrucción. Complétela con el capítulo “Caminos radiactivos” (pp. 148-151) del libro *Dioses y demonios en el átomo* o con material tomado de Internet.

- ¿De Hevesy *descubre* o *inventa* los marcadores radiactivos? Argumente su respuesta.
- ¿En qué momento se produce la innovación? ¿Diría usted que es una innovación *científica* o *tecnológica*?
- ¿Se atreve usted a encarar una reconstrucción abductiva del momento en que De Hevesy muestra a los huéspedes el verdadero sabor de las cenas de la pensión?

La anécdota es jugosa porque nos permite volver una vez más al tema de la relación entre evidencia y modelo en ciencias naturales. Para ello le mostramos nuestro intento de respuesta al último desafío del cuadro 1. Una primera abducción proveería la trabazón lógica entre la evidencia experimental y el modelo teórico (lo que hemos llamado al final del capítulo 2 “la construcción del hecho científico”), y una segunda descartaría, por poco plausible, la presencia de otras delicias radiactivas en el menú:

² En castellano se usa muy a menudo el término “trazador”, que es una poco acertada traducción del inglés “*tracer*” (“rastreador”).

Si el guiso fantasmagórico fuera un reciclado de las sobras, tendría el marcador puesto por De Hevesy.

Si el guiso fantasmagórico tuviera un marcador radiactivo, entonces descargaría el electroscopio.

El electroscopio se descarga.

(luego)

El guiso fantasmagórico tiene un marcador radiactivo, muy probablemente el marcador puesto por De Hevesy.

(luego)

El guiso fantasmagórico es un reciclado de las sobras.

El mismo episodio reidero nos sirve para trabajar sobre la división muy difundida y un tanto arbitraria entre ciencia “pura”, ciencia “aplicada” y tecnología (cuadro 2).

CUADRO 2

Remítase a alguna narración histórica acerca de los inicios de la física atómica. Son recomendables las ya citadas *El átomo inquieto* y *Dioses y demonios en el átomo*.

- Reflexione alrededor de las siguientes preguntas:

1. ¿Cuáles diría usted que son los avances en ciencia pura que allanan el camino para la invención de los marcadores radiactivos?
2. ¿En qué momento se aplica el conocimiento científico a un problema real?
3. ¿Qué dificultades tecnológicas aparecen para instalar el uso de los marcadores?

Un conocimiento científico específico acerca de la radiactividad, la capacidad de algunas radiaciones para ionizar el aire, es aplicado ingeniosamente por De Hevesy para “seguir la pista” a un material (en este caso, ¡la carne!), pero aún falta mostrar la utilidad de esta triquiñuela, por analogía, en problemas científicos de envergadura. La nueva técnica se comienza a emplear más sistemá-

ticamente una década después, en 1923, cuando De Hevesy se vale de agua marcada con radioplomo para estudiar su distribución en las plantas.

Otro tema son los escollos tecnológicos que la nueva invención suscita: se necesita, por una parte, perfeccionar los instrumentos para poder medir pequeñas cantidades de radiaciones ionizantes o detectar rayos gamma (que casi no ionizan el aire) y, por otra parte, conseguir marcadores más útiles que los metales pesados. Es aquí donde podemos ver cómo ciencia y tecnología se alimentan mutuamente: en los años treinta, como secuela del trabajo de los Joliot-Curie, la producción de radioisótopos artificiales de elementos livianos (como el potasio, el nitrógeno y el fósforo) es un avance tecnológico que permite un avance científico: comenzar a *modelizar* procesos biológicos. Y los nuevos conocimientos sobre la biología humana dan paso, a su vez, a impresionantes técnicas de diagnóstico médico (cuadro 3, sólo para valientes).

CUADRO 3 (MUY DIFÍCIL)

Le describimos brevemente la técnica de diagnóstico conocida como *gammagrafía de tiroides*:

Se inyecta en el paciente una solución de pertecnetato de sodio (NaTcO_4). El isótopo de tecnecio que se usa es el $^{99}\text{Tc}^m$ (tecnecio-99 metaestable), un *radionúclido artificial emisor de rayos gamma* de unas seis horas de semivida.³ El anión pertecnetato es de un tamaño similar al del átomo de yodo, por lo cual es acumulado (pero no procesado) por la tiroides. Después de un cierto intervalo de tiempo, se miden las radiaciones (por su "centelleo"), y con ello se evalúan algunos aspectos del funcionamiento de la glándula. En las gammagrafías de tiroides también se pueden usar dos radioisótopos artificiales del yodo, el I-131 (un β -emisor de ocho días de semivida) y el I-123 (de trece horas de semivida, que decae por captura electrónica).

continúa

³ En realidad, el tecnecio experimenta lo que se llama una *transición isomérica* desde el estado metaestable al estado estable, liberando el fotón gamma. Por tanto, correspondería hablar de un "período de semidesexcitación" de seis horas.

continuación

• Busque más información e intente contestar las siguientes preguntas:

1. ¿Qué datos acerca de la tiroides se pueden obtener con tecnecio, teniendo en cuenta que éste no es utilizado por la glándula en la síntesis de hormonas?
2. Evalúe las ventajas y desventajas del tecnecio frente a cada uno de los dos isótopos de yodo en el radiodiagnóstico. Algunos criterios a tener en cuenta son: actividad, participación en los procesos glandulares, costo, peligrosidad para el paciente y el técnico, distancia desde el lugar de producción del radionúclido al centro de diagnóstico.
3. Proporcione al menos dos razones por las cuales De Hevesy no podría haber usado tecnecio para desenmascarar a la patrona. (En el texto hay una pista en cursiva.)
4. Hemos dicho que el texto que encabeza esta tarea es una "descripción" de la gammagrafía. ¿Cómo lo transformaría usted en una explicación?

Los ejemplos sobre la marcación radiactiva nos permiten cuestionar el mito de que la ciencia siempre precede a la tecnología, vista como una mera *aplicación* de los desarrollos científicos a problemas "reales". Hablamos entonces de tecnociencia, en el sentido de una empresa compleja en la cual el nuevo conocimiento teórico posibilita innovaciones prácticas que a su vez generan nuevos fenómenos a ser estudiados. Por ejemplo, la primera *preparación* del tecnecio mediante un ciclotrón en 1937 (un cuarto de siglo después de la inspección bromatológica sorpresa de De Hevesy) permite, además de completar el séptimo grupo de la tabla periódica, postular modelos acerca de la producción de metales pesados en el interior de las estrellas.

Vuelva una vez más a la actividad de madame Curie. ¿Estaría usted de acuerdo con nosotros en que la innovación científica mencionada en ella depende en bastante medida de las tecnologías disponibles? Para dar al radio un lugar en la tabla periódica se necesitaron avances en la medición de corrientes eléctricas pequeñas, en la espectroscopía, en la detección de radiaciones y en el análisis químico.

Ahora nos metemos en un análisis epistemológico de la innovación relatada en el ejemplo de Agatha Christie (cuadro 4). Queremos mostrarle que el cambio científico muchas veces se produce en la dirección de formular nuevos modelos teóricos que son “más ajustados”, *en sentido analógico*, a la realidad. En episodios de este estilo, la “unidad” del cambio sería el modelo.

CUADRO 4

En *El átomo inquieto* se describen con mucho detalle los experimentos históricos de Geiger y Mardsen, que sentaron las bases para la transición del modelo atómico de Thomson al de Rutherford.

- Tras la lectura de ese material, conteste:
 1. Mencione algunas de las tecnologías implicadas en el cambio científico acaecido tras tales experimentos (esto es, la construcción del modelo atómico planetario).
 2. ¿Qué avances en el conocimiento científico se desencadenaron con este nuevo modelo?
 3. ¿De qué fenómenos da cuenta este modelo y no da cuenta el modelo del budín de ciruelas (¡recuerde el capítulo 21)? ¿En qué sentido puede decirse que el modelo más nuevo es “mejor” que el anterior?

Inicialmente, el modelo de Rutherford proporciona una explicación y una predicción muy precisas (cuantitativas) de la dispersión de los rayos alfa al atravesar un material, pero en seguida permite pensar en un núcleo constituido por partículas, de las cuales sólo algunas tienen carga positiva. Desde allí se abren varios caminos fructíferos: la identificación de la “emanación” (los rayos alfa) como núcleos de helio, el reconocimiento de la existencia de una genuina *transmutación* de los elementos en la descomposición radiactiva, la idea de isótopo, el descubrimiento del neutrón, el acceso a la energía nuclear... Tenemos entonces por lo menos tres *criterios racionales* para decir que el modelo planetario es *mejor* que el modelo del budín: permite explicar más fenómenos, generar más conocimientos nuevos y realizar más intervenciones sobre el mundo.

Para aprender más

- Sobre radiactividad y radiaciones: R. Rodríguez-Pasqués (1994), *Radiactividad, rayos X y otras radiaciones ionizantes. Normas y medidas de protección*, Buenos Aires, Plus Ultra.
- Sobre tecnología: T. Buch (1996), *El tecnoscopio*, Buenos Aires, Aique.

El impertinente péndulo de Richer

Esta segunda actividad nos retrotrae al siglo XVII para aprender algunas cuestiones relacionadas con la idea epistemológica de *contrastación*. La actividad está inspirada en una propuesta del didacta de las ciencias australiano Michael Matthews.

El siglo XVII está signado por la expansión de las grandes potencias marítimas europeas hacia nuevos mundos. La navegación por largos períodos de tiempo genera muy diversos problemas, entre ellos, la necesidad de conocer la *longitud* en el mar, para saber cuánto se ha viajado hacia el Este o el Oeste. Es por ello que surge como gran desafío tecnológico en Europa la fabricación de relojes de precisión (rama esta de la tecnología que se conoce como “horología”).

Para ese entonces, el científico holandés Christiaan Huygens sugiere que el péndulo simple es un principio barato aplicable a la fabricación de cronómetros, debido a su *isocronía*, es decir, a que siempre tarda el mismo tiempo en “ir y volver”. Ya desde Galileo se había determinado que el período del péndulo (T) era proporcional a la raíz cuadrada de la longitud del hilo (l) sobre la aceleración de la gravedad (g), lo que simbólicamente se expresa como:

$$T \propto \sqrt{l/g}$$

Se lo suponía, por tanto, *independiente* de todo otro factor; entre ellos, de la posición del péndulo sobre la superficie terrestre.

Por tanto, la base de conocimiento teórico disponible en la segunda mitad del siglo XVII tiene como consecuencia necesaria la *invariancia* del período del péndulo con la latitud. Demostrar esta invariancia es, precisamente, una de las tareas que la *Académie des Sciences* francesa le encomienda al investigador

Jean Richer en su expedición científica a Cayena (Guayana Francesa) en 1672 y que él, para gran sorpresa de todos, incumple desastrosamente. Le mostraremos, siguiendo las ideas de Matthews, dos reconstrucciones racionales de este episodio histórico por medio de versiones muy conocidas del método científico, que usted ya encontró, "adaptadas", en la tarea del cuadro 26 de la página 59. Pero para ello necesitamos ahondar un poco en las herramientas lógicas que se discutieron en el capítulo 2.

Si pe, entonces cu

Vuelva al ejemplo socrático de razonamiento deductivo que apareció en la actividad de Agatha Christie; analice su presentación en forma de silogismo condicional. Primero le pedimos que se interne en la operación de *formalizar* razonamientos, es decir, de reescribirlos simbólicamente vaciándolos de contenido (cuadro 5).

CUADRO 5

- Formalice los dos razonamientos faltantes siguiendo el ejemplo de los que se le muestran. El signo menos (-) representa la *negación* de una proposición ("no es cierto que").

Razonamiento 1	Razonamiento 2	Razonamiento 3	Razonamiento 4
Si x es hombre, x es mortal. Sócrates es hombre. (luego) Sócrates es mortal.	Si x es hombre, x es mortal. Sócrates no es hombre. (luego) Sócrates no es mortal.	Si x es hombre, x es mortal. Sócrates es mortal. (luego) Sócrates es hombre.	Si x es hombre, x es mortal. Sócrates no es mortal. (luego) Sócrates no es hombre.
Si A, entonces C. A (luego) C			Si A, entonces C. -C (luego) -A

Ahora bien, estas cuatro "formas" de razonar no tienen todas la misma validez. Para ver esto con más claridad, suponga que llamamos Sócrates, alternativamente, a un filósofo griego, a una boa constrictor y a una supercomputadora. Entonces tendremos que el filósofo Sócrates es hombre y es mortal, la boa Sócrates no es hombre pero sí es mortal, y la computadora Sócrates no es hombre ni es mortal.

Fijese que el razonamiento 1 es correcto, pues sólo se aplica al filósofo Sócrates. Como éste es hombre, no le queda más remedio que ser mortal. El razonamiento 4 también es correcto, pues sólo se aplica a la computadora Sócrates. Como no es mortal, no le queda más remedio que no ser hombre (ni boa).

El razonamiento 2, en cambio, es incorrecto. El Sócrates que no es hombre puede ser la boa o la computadora. Por lo tanto, puede ser mortal o no serlo; no podemos concluir nada al respecto. Algo parecido pasa con el razonamiento 3: el Sócrates mortal puede ser el filósofo o la boa. Por lo tanto, puede ser hombre o no serlo; nuevamente, no tenemos una conclusión fiable.

En resumidas cuentas, disponemos de:

- Dos formas *válidas* de razonar deductivamente: el razonamiento 1, llamado con la expresión latina *modus ponens* porque "pone" (afirma) el antecedente, y el razonamiento 4, llamado en latín *modus tollens* porque "saca" (niega) el consecuente.
- Dos formas incorrectas o falaces de razonar: el razonamiento 2, conocido como *falacia de negación del antecedente*, y el razonamiento 3, la célebre *falacia de afirmación del consecuente*.

¿Qué métodos científicos se generan?

Vamos a suponer ahora que, en estos razonamientos, la cláusula condicional (Si A, entonces C) se obtiene aplicando el aparato de la lógica deductiva a una teoría científica (simbolizada convencionalmente con T) para extraer de ella consecuencias contrastables con la realidad (se las suele llamar O, porque son "observacionales"). Por ejemplo, de una teoría física sencilla puedo deducir que la Luna se verá más grande cerca del horizonte que cuando está alta en el cielo, debido a la mayor refracción de los rayos luminosos atravesando más espesor de atmósfera. O de una teoría química un poco más complicada puedo deducir que el agua lavandina (solución acuosa de hipoclorito de sodio) puede decolorar la ropa blanca.

clorito de sodio) me sirve para blanquear los calcetines en el lavarropas, porque es un poderoso oxidante. Si la teoría es correcta, sus consecuencias observacionales *han de ser correctas*; esto está garantizado por la propia naturaleza del razonamiento deductivo.

Con este condicional, tanto el *modus ponens* (razonamiento 1) como la falacia de negación del antecedente (razonamiento 2) generan versiones de método científico bastante inútiles, puesto que suponen que se conoce de antemano el valor de verdad de la teoría:

Si T, entonces O T (= la teoría es verdadera) <i>(luego)</i> O (= sucederá lo descrito por O)	Si T, entonces O -T (= la teoría es falsa) <i>(luego)</i> -O (= no sucederá lo descrito por O)
--	---

Pero si ya supiéramos que la teoría es verdadera o falsa, no habría nada que contrastar... ¡y se acabaría el método científico!

Los otros dos razonamientos, en cambio, otorgan un valor de verdad a las consecuencias observacionales como resultado de alguna intervención (puede ser una observación o un experimento). Por eso son genuinas reconstrucciones racionales del método científico, en las cuales se contrastan evidencias empíricas con predicciones teóricas:

Si T, entonces O O (= sucede lo descrito por O) <i>(luego)</i> T (= la teoría se confirma)	Si T, entonces O -O (= no sucede lo descrito por O) <i>(luego)</i> -T (= la teoría se refuta)
---	--

El razonamiento 3 confirma la teoría a partir de comprobar la verdad de sus consecuencias; da lugar a un método llamado *verificacionismo*. El razonamiento 4 refuta la teoría a partir de comprobar la falsedad de sus consecuencias; da lugar a un método llamado FALSACIONISMO.

Ahora bien, existe una asimetría lógica entre estos dos procedimientos. El verificacionismo se apoya en la falacia de afirmación del consecuente; como

metodología científica puramente *inductiva*, que afirma la verdad de un conjunto finito de consecuencias observacionales (hechos particulares), no añade validez a la teoría (aunque sí puede añadirle "credibilidad"). En cambio, el falsacionismo se apoya en la potencia *deductiva* del *modus tollens*: basta negar un solo hecho particular (el consecuente) para tirar abajo toda la teoría general (el antecedente). Esta asimetría se cuele, un tanto distorsionada, en las versiones escolares del método científico, como se discute en el cuadro 6.

CUADRO 6

Vuelva al epítome de método científico que analizó en el cuadro 26 del capítulo 2.

• Sobre el diagrama:

1. Según el autor, ¿qué camino se sigue tras la verificación ("confirmación") de una hipótesis?
2. ¿Y tras la refutación ("rechazo")?

• ¿Cómo cree usted que hipótesis confirmadas repetidas veces pueden transformarse en generalizaciones, principios y leyes? Dé ejemplos.

Ahora usemos estos dos métodos científicos –verificacionismo y falsacionismo– para reconstruir el chasco de monsieur Richer. La teoría mecánica galileana (T) predice la invariancia del período del péndulo (O) si no se cambia la longitud del hilo o la aceleración de la gravedad. Para los verificacionistas, mostrar que el reloj de péndulo no atrasa ni adelanta al viajar desde París (a casi 50° de latitud norte) hasta Cayena (prácticamente sobre el Ecuador) aportaría otro triunfo resonante para la teoría. Según su método, la comprobación experimental de la verdad de O conduce al apoyo de T. Pero resulta que el reloj atrasa, y que es necesario acortar la cuerda del péndulo para ponerlo nuevamente en hora. Para los falsacionistas, esto implicaría descartar de plano la mecánica galileana. Según su método, la refutación experimental de O conduce al fracaso de T.

Ninguna de estas dos reconstrucciones metodológicas se ajusta a los hechos históricos. La primera no se puede aplicar en este episodio, puesto que

la evidencia empírica se mostró *opuesta* a las predicciones teóricas. La segunda va contra lo que efectivamente sucedió como consecuencia de los resultados experimentales: los físicos no se deshicieron de la teoría galileana frente a esta *anomalía*.

Pero podemos pensar en una versión "sofisticada" del falsacionismo que sí nos diga cosas interesantes del proceder de los científicos. Al conocerse el resultado del experimento, lo primero que se hizo fue atacar al investigador, suponiendo que él se había equivocado. Se introdujo así lo que, en el capítulo anterior, llamamos una hipótesis *ad hoc*, específicamente diseñada para salvar la teoría:

Si T y H, entonces O'
 donde H: "Richer es un mediocre" [hipótesis *ad hoc*]
 y O': "el reloj atrasa" [resultados anómalos]

Pero nuevos experimentos condujeron a idénticos resultados negativos, así que el segundo camino fue examinar las condiciones en las cuales se hace la deducción "Si T, entonces O". La invariancia del período con la latitud se sigue de la ley del péndulo sólo *si todos los demás factores se mantienen iguales*. Por tanto, hay una cláusula *ceteris paribus* C (usando la locución latina que hace alusión a esa constancia de las demás variables) que está unida a la teoría T:

Si T y C, entonces O
 -O
 (luego)
 -T o -C

Entonces, en lugar de refutar la teoría, los científicos prefieren negar la cláusula *ceteris paribus* (-C), suponiendo que algo cambió de París a Cayena y alteró el resultado del experimento. Lo que cambió, por supuesto, es la distancia del péndulo al centro de la Tierra (puesto que el planeta no es esférico, sino que tiene un radio mayor en el ecuador, como una mandarina), y ese aumento en la distancia provocó una disminución en la gravedad sobre él. Con una aceleración menor, tenemos un período de oscilación mayor, y el reloj atrasa.

Vemos que en este caso histórico la ciencia cambia mediante pequeños ajustes en el conocimiento científico establecido, de modo de hacerlo más preciso

y más potente. Podríamos identificar este mismo tipo de cambio científico en algunos ejemplos tratados en las demás actividades: la explicación de un fenómeno enigmático (el vínculo entre el procesamiento de los ácidos grasos saturados y monoinsaturados), la inclusión de un nuevo elemento en la tabla periódica (el radio), la invención de una nueva técnica (los marcadores radiactivos).

Momento de pánico

Si usted es un lector muy concienzudo, habrá detectado dos "baches" a lo largo de esta actividad. El primer bache es un salto lógico que no hemos justificado debidamente: en nuestra exposición del falsacionismo sofisticado, concluimos que lo que se refuta es, o bien la teoría, o bien la cláusula *ceteris paribus* (-T o -C). Para deducir semejante conclusión nos saltamos un paso. El *mea culpa* se hace en el cuadro 7; le advertimos que exige bastante dedicación.

CUADRO 7 (DIFÍCIL)

Terminemos de introducir las convenciones para la completa formalización del *modus tollens*. Las letras minúsculas "p", "q" y "r" representan proposiciones. El símbolo " \rightarrow " representa la consecuencia ("entonces"), el símbolo " \leftrightarrow " representa la equivalencia ("es lo mismo que"), el símbolo "." representa la conjunción ("y") y el símbolo "v" representa la disyunción ("o"). Con una raya larga se indica la operación de inferencia ("luego").

La formalización de la cadena completa de razonamientos usada en el episodio de Richer es entonces:

(p . q) \rightarrow r [premisa 1.1]
 -r [premisa 1.2]
 -(p . q) [conclusión 1, que sirve de premisa 2.1]
 -(p . q) \leftrightarrow (-p v -q) [premisa 2.2]
 -p v -q [conclusión 2]

- Interprete esta cadena, es decir, tradúzcala nuevamente al lenguaje natural siguiendo el razonamiento de Richer.

continúa

En la segunda premisa del segundo razonamiento [2.2] se utilizó una de las *leyes de De Morgan*, que dice que la negación de la conjunción es igual a la disyunción de las negaciones.

• Para ver la validez de esta ley, examine el significado de la frase “No me llamo Diego Pérez”:

1. ¿Es esto verdad si me llamo Mario Gómez?
2. ¿Qué pasa si me llamo Mario Pérez?
3. ¿Y si mi nombre es Diego Gómez?

• ¡Relacione ahora sus conclusiones con el lenguaje formal!

El segundo bache de la actividad nos pone en un aprieto conceptual más grave. Si vuelve para atrás, puede ver que la forma condicional de la abducción leguminosa de Peirce es *formalmente* idéntica a la macabra falacia de afirmación del consecuente:

Si A, entonces C
C
(luego)
A

Cuando presentamos la abducción, le advertimos que este modo de razonar no es lógicamente válido: puede darse el caso de que la conclusión abducida sea falsa aun con premisas verdaderas (algo que jamás sucede en una deducción bien formada). Sin embargo, existe una diferencia importante entre un razonamiento abductivo potente y la ingenua falacia inductiva de ir por el mundo “acumulando verdades”. La diferencia es la *naturaleza* del antecedente A y del consecuente C.

En el ejemplo de Richer reconstruido con la falacia, se busca *probar* la verdad de toda una teoría ya aceptada a partir de ver que funciona en muchísimos casos. La historia de la ciencia nos muestra que este procedimiento es infructuoso. Las teorías científicas, tarde o temprano, terminan siendo descartadas cuando dejan de ser útiles para explicar los fenómenos naturales y seguir adelante en el proceso de creación científica (sin embargo, vimos que esto no sucede frente a una única anomalía menor). En los ejemplos de Rutherford, Curie y De Hevesy, en cambio, de un solo fenómeno enigmático

que requiere explicación se infiere la *plausibilidad* de una hipótesis que arroja luz sobre él. La conclusión de una abducción, para ajustarnos más a la concepción de Peirce, sería del tipo “Resulta interesante pensar que sucede esto y seguir investigándolo”. En este sentido, creemos que la abducción como reconstrucción del proceso científico creativo puede tener mucho valor en la enseñanza de las ciencias naturales.

Para aprender más

– Sobre horología y sobre el viaje de Richer: M. Matthews (2000), *Time for science education. How the history and philosophy of pendulum motion can contribute to science literacy*, Nueva York, Plenum (en inglés).

– Sobre el método científico (vea además la actividad “La muerte en el Nilo” del capítulo 2): E. Díaz y M. Heler (1999), *El conocimiento científico. Hacia una visión crítica de la ciencia*, Buenos Aires, Eudeba.

– Sobre lógica formal (vea además la actividad “La muerte en el Nilo” del capítulo 2): R. Guibourg, A. Ghigliani y R. Guarinoni (1995), *Introducción al conocimiento científico*, Buenos Aires, Eudeba.

Disputas de farmacéuticos

En esta actividad nos retrotraemos a los inicios de la química moderna para aprender sobre distintos tipos de cambio científico. La idea epistemológica que introducimos es la de PARADIGMA.

Las primeras tareas de la actividad se desarrollan alrededor de un diálogo de ficción entre dos farmacéuticos franceses, representantes de dos escuelas de pensamiento opuestas. El diálogo ha sido escrito por la didacta de las ciencias española Mercè Izquierdo Aymerich.

Los protagonistas son Ludovicus, un farmacéutico parisino católico, de edad avanzada, que apoya la *herboristeria*, es decir, la preparación de medicamentos a partir de las plantas, y Teofrasto, un joven farmacéutico de Montpellier, protestante, que defiende la *iatroquímica*, esto es, el uso de sustancias químicas inorgánicas en la curación de los enfermos. Antes de pasar a discutir el diálogo, necesitamos imaginar el contexto histórico dentro del cual nos moveremos (cuadro 8).

CUADRO 8

El diálogo está ambientado en París, a inicios del siglo xvii. La época es más o menos coincidente con la descrita en la novela *Los tres mosqueteros* de Alexandre Dumas.

- Busque información de diversas fuentes para *reconstruir* la época en cuanto a sus rasgos políticos, económicos, sociales, culturales, artísticos, científicos.

Usando como telón de fondo la reconstrucción del escenario histórico, vamos ahora directo al diálogo (cuadro 9). En una primera lectura, se trata de ver cómo la autora caracteriza las posiciones científicas de ambos personajes.

CUADRO 9

Lea el diálogo entre los dos farmacéuticos:⁴

Ludovicus: El farmacéutico, al preparar los medicamentos, ha de ser respetuoso con la mezcla natural de cada cuerpo, porque la virtud curativa del medicamento depende de ella.

Teofrasto: Pero, dado que la química se interesa por conocer mejor los compuestos mediante su solubilización y coagulación, también ayuda a preparar los medicamentos para que sean más agradables al gusto y más saludables para el cuerpo que los que preparan los farmacéuticos vulgares... aunque para ello sea necesario modificar la mezcla de los cuerpos. No veo que haya ninguna razón de peso en contra.

Ludovicus: Creo que hasta el momento presente hemos preparado muy buenos medicamentos, ¿no crees? No necesitamos para nada la química, como tú la llamas. Recuerda que hasta hace poco se la llamaba alquimia, y que era algo bastante turbio y excluido de la Universidad... Y, la verdad, me parece ofensivo que nos llames "farmacéuticos vulgares".

Teofrasto: Perdona, no seas tan susceptible. Tienes razón, ustedes preparan bien los medicamentos... pero sólo los tradicionales, ¡los que se

continúa

⁴ Adaptado de: Mercè Izquierdo Aymerich (2000), "Fundamentos epistemológicos", en: F. J. Perales y P. Cañal (comps.), *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*, Alcoy, Marfil, pp. 35-64.

continuación

han preparado desde siempre! ¿No podríamos hacerlo aún mejor si utilizásemos bien el arte de Paracelso, es decir, la química?

Ludovicus: Lo dudo mucho. Paracelso mataba con ácidos los metales como el mercurio y el plomo, y pretendía curar con el producto resultante. ¿Cómo se va a curar un organismo vivo con una materia tan muerta?

Teofrasto: Pero piensa en los enfermos. Los medicamentos de ustedes son tan desagradables que muchos enfermos se encuentran peor sólo de verlos, y no por ninguna virtud oculta o magnética que posean, sino al imaginar su sabor y su olor... de manera que se ven obligados a vaciarse por arriba y por abajo sin ninguna otra ceremonia.

Ludovicus: Bien sabes de sobra que no es para tanto. También algunos de los medicamentos que ustedes preparan son bastante desagradables. Y reconoce que son venenosos, porque se extraen de cosas minerales y metálicas. En cambio, los medicamentos preparados a la manera antigua, aunque huelen mal, son sanos y sin peligro.

Teofrasto: Pero ¿por qué los médicos modernos no han de poder utilizar materiales bien cocidos, si así se les elimina la malignidad? ¿Sólo porque los antiguos no lo hacían?

Ludovicus: Pues ésta me parece una buena razón. Estamos utilizando una experiencia de muchos siglos, de los clásicos, los cuales, como sabes, llegaron a la cumbre de las ciencias.

Teofrasto: Pero esta experiencia que dices, ustedes la sacan de los libros y nosotros utilizamos una de otro tipo, que nos llega directamente del laboratorio y de las analogías que, con la ayuda de Dios, descubrimos entre las cosas de la naturaleza.

Ludovicus: ¡Qué pretensiones, creer que pueden encontrar más verdad en el laboratorio y en libros sospechosos como los de Miriam la Judía, que la que hay en los libros de los sabios! Continúo sin ver qué tiene que ver la química, como tú llamas a esas prácticas alquímicas, con la medicina.

Teofrasto: *Tanto los seres vivos como la química tienen la misma dinámica...*

Ludovicus: *¡Son la naturaleza y el cuerpo humano los que tienen una misma dinámica! Por esto los medicamentos han de ser naturales y sin desvirtuar, y así los preparamos.*

Teofrasto: ¡Qué Dios nos libre de darlos crudos como hacen ustedes! Al contrario, mediante las operaciones de la química separamos lo saludable del veneno, el tuétano de la corteza...

Ludovicus: ¿Qué saben ustedes de lo que le están haciendo al metal al cocerlo? ¿Le separan lo que es nocivo o, en cambio, lo envenenan

continúa

aún más? Reconoce que ustedes saben bien pocas cosas de los cambios de mezcla que provocan.

Teofrasto: Bien, sabemos más de lo que crees, y continuamos estudiando. Además, los medicamentos han de ser recetados por un médico experto y clarividente, que calcule la cantidad justa.

Ludovicus: Claro, como que ustedes hacen experimentos con los enfermos... Lo único que consiguen es que sus enfermos estén más contentos, porque los medicamentos que les dan son más fáciles de tragar... pero sus medicamentos son inútiles y venenosos, porque se han extraído de cuerpos destruidos y corrompidos, privados de su humedad radical. Y esto lo saben tan bien como nosotros.

Teofrasto: Pero escúchame bien: si los minerales son venenosos es debido a su forma, y ésta se pierde al destruirlos. Y si alguien prefiere decir que la malignidad es debida a alguno de sus principios (cosa más que creíble), mejor aún, porque así podremos separarlo de los otros. Además, ustedes también hacen infusiones y decocciones mediante el fuego.

Ludovicus: En esto imitamos a la naturaleza, que transforma los alimentos antes de repartirlos por el cuerpo...

Teofrasto: ¿Ves cómo no estamos tan alejados unos de otros? Lo que pasa es que ustedes tienen miedo y sólo les falta aceptar que las operaciones de la química son útiles para que puedan pasar de las tinieblas de la ignorancia a la luz del saber.

Ludovicus: No quiero escucharte ni un momento más. ¡Pasar de la ignorancia al saber! ¿Qué se piensan ustedes que son? Son sólo unos pedantes y su nueva ciencia aún ha de demostrar lo que puede conseguir. De momento, ustedes no son más que un peligro público.

- Enfrente en dos listas aquellas cuestiones que, en el texto, diferencian claramente la iatroquímica de la herboristería.

Las listas confeccionadas en la tarea del cuadro 9 muestran el desacuerdo entre Ludovicus y Teofrasto en muchos puntos conceptuales y metodológicos: cómo se preparan los medicamentos, de dónde provienen su virtud y su malignidad, cómo han de ser recetados. También aparece una oposición frontal entre los *modelos teóricos* que ambos autores sustentan, que hemos subrayado en el texto. Para Ludovicus, la analogía para entender el cuerpo humano es la naturaleza; para Teofrasto, es la química. E incluso los dos farmacéuticos disienten en su concepción del método científico: para Ludovi-

cus se ha de utilizar la experiencia de los clásicos, contenida en los libros; para Teofrasto, el nuevo conocimiento se genera en el laboratorio.

Con el fin de caracterizar estos disensos, resulta útil introducir la idea de paradigma. A este término epistemológico se le dan muchos significados, con diferente nivel de generalidad, pero nosotros vamos a aplicarlo al ejemplo con tres sentidos muy específicos:

1. El paradigma es una *cosmovisión* o un marco filosófico general. Para Ludovicus, seguidor del aristotelismo, la forma de hacer ciencia es acatar el principio de autoridad de los clásicos. Para Teofrasto, paracelista, el método científico es *experimental*, y la ciencia conecta con el cristianismo y con la llamada "magia natural".
2. El paradigma es un *modelo teórico* que funciona como epítome para la creación de nuevo conocimiento. Es decir, a la hora de trabajar, uno utiliza un modelo biológico del cuerpo humano; el otro utiliza un modelo químico.
3. El paradigma es una serie de *reglas* de acción para intervenir en el mundo. Ludovicus, para fabricar los medicamentos, realiza operaciones como la decocción. Teofrasto, en cambio, se vale de operaciones como la solubilización. Teofrasto cree, además, que el médico ha de escuchar al paciente y seguirlo durante el tratamiento.

Ahora bien, ¿cómo se produce el cambio científico en el campo de la farmacia? Podemos imaginarnos que, en el largo tiempo transcurrido entre los herboristas medievales y los renacentistas (como Ludovicus), nuevos conocimientos han ingresado a la ciencia. Se trata de un cambio gradual, que podemos llamar *evolución* científica. La evolución correspondería a ajustes en el paradigma como modelo (sentido 2). Pero si en el siglo XVII la comunidad científica decide que la iatroquímica es la nueva forma de hacer farmacia, y la herboristería cae en desuso y termina por desaparecer, estamos frente a un cambio abarcativo y abrupto, que podemos llamar *revolución* científica. La revolución correspondería a transformaciones profundas en los tres sentidos del paradigma.

Podríamos pensar los ejemplos enumerados al final de la actividad de Richer como episodios de evolución científica. Un poco más revolucionarias serían innovaciones como las siguientes: postular un modelo atómico con un

núcleo pequeñísimo formado por partículas, pensar la radiactividad como transmutación. Pero la única revolución científica en sentido estricto que hemos mencionado hasta ahora aparece en la actividad de los cromosomas: se trata del cambio de la explicación flogistonista a la explicación oxigenista de la calcinación del plomo (representadas, respectivamente, por el alemán Georg Ernst Stahl y el francés Antoine-Laurent Lavoisier).

Ahora volvamos al diálogo para ver cómo los personajes no entienden la postura ajena. (cuadro 10).

CUADRO 10

- Recoja del diálogo aquellos pasajes en los que se evidencia que un interlocutor no entiende o no quiere entender al otro.
- A su juicio, ¿qué herramientas del discurso (*recursos retóricos*) utilizan los personajes?

En el diálogo, muchas veces enardecido, los personajes llegan a descalificarse e insultarse mutuamente. Teofrasto trata a Ludovicus de ignorante y éste lo tilda a él de soberbio. Otro argumento que Ludovicus utiliza para refutar el paradigma de Teofrasto incluye una consideración *ética*: que los paracelsistas experimentan con los enfermos. A menudo sucede que el científico como individuo, al defender una cierta concepción teórica, no es convencido por sus rivales. Y es la comunidad científica en su conjunto la que termina por aceptar el cambio. Con esta idea, analice lo que sucede en *Lorenzo's oil* (cuadro 11).

CUADRO 11

Vuelva a la película sobre Lorenzino. La primera vez que los Odone le proponen al doctor Gus Nikolais (personaje interpretado por Peter Ustinov) utilizar el aceite de colza, éste pone muchos reparos. Michaela le espeta una frase durísima, acusándolo de cobarde, y a Nikolais se le cae la mandíbula. Los Odone se marchan de su consultorio dando un portazo.

continúa

continuación

• Discuta:

1. ¿Qué razones aduce el médico para justificar su desacuerdo con los Odone?
2. ¿Qué deciden hacer los padres del niño?
3. ¿Cómo se soluciona finalmente (a largo plazo) el disenso?

Para aprender más

- Sobre la iatroquímica: I. Asimov (1980), *Breve historia de la química*, Madrid, Alianza.
- Sobre el cambio de paradigmas en ciencias: H. Palma y E. Wolovelsky (2001), *Imágenes de la racionalidad científica*, Buenos Aires, Eudeba.

¿Qué sabemos ahora sobre el segundo eje?

Le pedimos, como antes, que se tome unos momentos para sistematizar la información del capítulo según las cuatro cuestiones del eje histórico (cuadro 12).

CUADRO 12

- Elabore un cuadro para clasificar las ideas epistemológicas tratadas en las actividades de este capítulo dentro de cada una de las cuestiones expuestas en la introducción (innovación, evolución, juicio e intervención).

En la línea de examinar cómo se produce el conocimiento nuevo (innovación), hemos insistido con la analogía y la abducción, que son inferencias *productoras* de hipótesis. También hemos visto que una innovación científica a veces consiste en un salto creativo que permite trasladar una idea establecida a un contexto novedoso como, por ejemplo, cuando De Hevesy usa la "rastreadabilidad" de las radiaciones para seguir la evolución de un proceso biológico.

En la línea de analizar cómo cambia la ciencia (evolución), hemos tratado de clasificar los cambios según su nivel de radicalidad. La ciencia procede a menudo por ajustes en los modelos (como cuando se introduce la idea de una Tierra achatada para entender la variación de la gravedad a nivel del mar); otras veces, sin embargo, son necesarias alteraciones importantes, como cuando se descarta el paradigma del flogisto y se postula una nueva teoría completa sobre la oxidación.

En la línea de ver cómo los científicos deciden sobre la validez de los modelos (juicio), hemos visto que existen parámetros racionales para tomar las decisiones: el modelo atómico de Rutherford explica más y al mismo tiempo genera más fenómenos que el de Thomson. Pero también hemos visto que hay cierta cuota de "irracionalidad" en el proceso, que a su debido tiempo es corregida por la comunidad científica.

En la línea de valorar cómo el nuevo conocimiento cambia las maneras de pensar, decir y hacer (intervención), hemos visto que ciencia y tecnología se potencian mutuamente para transformar el mundo, como en los ejemplos de física atómica.

Para seguir pensando sobre el eje histórico

– T. Kuhn (1970), *La estructura de las revoluciones científicas*, México, Fondo de Cultura Económica.

Este libro clásico, de lectura amena pero exigente, contiene un desarrollo muy detallado de la idea de "paradigma" y gran cantidad de intuiciones con las cuales los científicos y los profesores de ciencias naturales nos sentimos aún hoy identificados.

– L. Geymonat (1977), *El pensamiento científico*, Buenos Aires, Eudeba.

Este pequeño libro constituye un rápido recorrido por la historia de la ciencia desde sus inicios; se hace una lectura epistemológica de los más grandes cambios teóricos.

– A. Estany (1990), *Modelos de cambio científico*, Barcelona, Crítica.

En este libro, de nivel universitario, la autora nos presenta con bastante profundidad algunos modelos famosos, provenientes de la llamada *nueva filosofía de la ciencia*, sobre cómo cambia la ciencia a lo largo de la historia.

4. ¿Cómo se relaciona la ciencia con la sociedad y la cultura?

En este capítulo examinamos el tercer y último eje de la naturaleza de la ciencia (el eje sociológico) alrededor de tres cuestiones organizadoras:

1. *Contextos.* ¿En qué ámbitos sociales se desarrolla la ciencia? ¿Cómo y dónde se crea, valida, acepta, formaliza, aplica, evalúa, comunica y enseña el conocimiento científico dentro de la sociedad? ¿Qué comunidades intervienen?
2. *Valores.* ¿Qué normas y valores guían las ciencias? ¿Cuáles son las posibles relaciones entre ciencia y ética?
3. *Lenguajes.* ¿Qué características tiene la ciencia como producto cultural? ¿Cómo es el lenguaje propio de la ciencia?

El capítulo contiene tres actividades para pensar sobre algunos temas centrales del eje sociológico inscritos en estas cuestiones. Las actividades puestas a su consideración se llaman: "Ciencia hurtada", "Hello, Dolly" y "¿Quién le teme al calvo de gafas?". En ellas, la reflexión se establece, una vez más, a través de los modelos realistas y racionalistas moderados de la naturaleza de la ciencia (capítulo 1), elegidos por su capacidad de enriquecer la enseñanza de las ciencias naturales.

Ciencia hurtada

Esta primera actividad le propone tomar contacto con tres casos relativamente resonantes de conductas científicas que –dicho eufemísticamente– están "reñidas con la ética", a fin de reflexionar sobre los derechos y los deberes de los científicos en lo que hace a la divulgación de sus producciones. La idea epistemológica que introducimos es la de *axiología*.

Para comenzar, le proponemos que, junto a sus colegas o estudiantes, se sumerja en el estudio de un caso histórico a elegir entre tres de los que se le presentan (cuadro 1).

CUADRO 1

Elija uno de los siguientes tres casos de conductas éticamente dudosas en la ciencia e intente atacarlo desde sus aspectos científicos y metacientíficos. Para cada caso, le proporcionamos un apretado resumen introductorio y una fuente que lo revisa de manera polémica.

1. *La fotografía 51*. Puede utilizar como material el artículo de Miguel de Asúa titulado "Los tres caminos hacia la doble hélice".¹ La científica inglesa Rosalind Franklin (1920-1958) determinó, mediante sus estudios cristalográficos realizados entre 1950 y 1953, que el ácido desoxirribonucleico (ADN) está formado por dos cadenas de azúcares y fosfatos, antiparalelas, que sostienen los pares de bases nitrogenadas (purinas y pirimidinas) hacia adentro de la estructura. Watson y Crick, en el artículo de *Nature* en el que postulan su modelo estereoquímico de la molécula, utilizaron una imagen tomada por Franklin de la difracción de rayos X en la forma B -hidratada- del ADN (la célebre "fotografía 51") sin permiso de la autora ni referencia a la fuente.
2. *El descubrimiento del VIH*. Puede acceder al episodio mediante la película *And the band played on*² (1993, dirigida por Roger Spottiswoode). Se cree que el científico estadounidense Robert Gallo utilizó fraudulentamente la microfotografía electrónica y la muestra de sangre que el equipo francés de Luc Montaigner le había remitido a su pedido para arrogarse la paternidad del descubrimiento del virus de la inmunodeficiencia humana (VIH).
3. *El incidente Perucho*. Puede trabajar sobre el reciente libro *¿Eureka?*,³ de nivel un tanto más complejo que los materiales mencionados más arriba. El investigador español Manuel Perucho, autor de un descubrimiento sobre mecanismos genéticos de apa-

continúa

¹ M. de Asúa (2003), "Los tres caminos hacia la doble hélice", en: *Ciencia Hoy*, 13(76), pp. 24-29.

² En castellano se conoce con los nombres de *Y la banda siguió tocando*, *En el filo de la duda* y *Contacto peligroso*.

³ D. Casacuberta y A. Estany (2003), *¿Eureka?*, Barcelona, Crítica.

continuación

rición del cáncer de colon, envió un artículo relatándolo a las revistas *PNAS* y *Cell*. Al parecer, Bert Vogelstein, que trabajaba en el mismo tema, retrasó más de un año la publicación del manuscrito de Perucho mediante *referatos* negativos.⁴

• Para el caso elegido, investigue los siguientes aspectos:

1. ¿Cuál es el contenido científico involucrado (ácidos nucleicos, retrovirus, oncogenes...)? Caracterícelo brevemente.
2. ¿Quiénes son los protagonistas de la controversia?
3. ¿Cuáles son las aportaciones científicas de Rosalind Franklin/Luc Montaigner/Manuel Perucho (según corresponda a la controversia seleccionada por usted)?
4. Describa la conducta "reñida con la ética" que tuvo, según la fuente, James Watson/Robert Gallo/Bert Vogelstein en el episodio que usted eligió.
5. Según la imagen de ciencia que usted tiene, ¿qué "debería haber hecho" este científico? ¿Por qué supone usted que no lo hizo?

Examinando este tipo de casos, vemos cómo la ciencia, en tanto empresa humana, no está exenta de problemas "humanos", como los suscitados cuando se quiere "acaparar" a toda costa la fama que la investigación científica puede reportar. Frecuentemente enseñamos que el científico *debe ser* objetivo, imparcial, honesto, abierto, desinteresado, generoso con respecto a sus descubrimientos e invenciones... Éstos son imperativos de conducta que no siempre se cumplen, pues el afán de notoriedad, reconocimiento o lucro, y las presiones de colegas, instituciones, medios o gobiernos, se entremezclan en la toma de decisiones profesionales.

La idea de axiología remite a esto: hay un conjunto de *valores* que rigen la actividad científica. Tales valores tienen que ver, por una parte, con el desarrollo "honesto" de la ciencia: por ejemplo, dar debido crédito a los auto-

⁴ El referato es la evaluación académica de un artículo hecha por un colega. Generalmente se realiza con el sistema "doble ciego"; es decir, los referats no saben quiénes son los autores de los trabajos que evalúan y recíprocamente.

res de un descubrimiento o una invención. Y, por la otra, la ciencia se subordina a valores externos para no entrar en conflicto con aquello que se considera deseable para la humanidad en su conjunto (como la vida, la salud, el bienestar, la igualdad de oportunidades, etcétera).

Volvamos ahora a las *controversias tecnocientíficas* que fueron apareciendo en los dos capítulos anteriores, para analizar el papel que tuvieron sus protagonistas en el cambio científico (cuadro 2).

CUADRO 2

- En las controversias trabajadas hasta ahora (por orden de aparición: flogisto *versus* oxígeno, dieta *versus* aceite de Lorenzo, budín de ciruelas *versus* sistema planetario, herboristería *versus* iatroquímica):
 1. ¿Qué factores pueden haber influido para que los científicos afe-rrados a ideas “viejas” (Stahl, Nikolais, Thomson, Ludovicus) no quisieran cambiar frente a las nuevas evidencias disponibles?
 2. ¿Cómo caracterizaría usted la *racionalidad científica* que exhiben los antagonistas en cada lado de estas historias? ¿En qué casos no se puede hablar de un comportamiento “sensato” desde los *valores epistémicos* más clásicos (honestidad, rigurosidad, objetividad, desinterés, etcétera)?
 3. ¿Qué sucede para que finalmente se imponga un nuevo modelo teórico?

Los científicos muchas veces ven los fenómenos desde un modelo teórico establecido que es *incomparable*⁵ con un modelo nuevo que lucha por plantarlo. Factores personales –tales como la búsqueda de un cierto estatus, los prejuicios y las convicciones ideológicas– pueden jugar a favor o

⁵ La palabra técnica que se usa en epistemología para describir la imposibilidad de comparación racional es “incomensurabilidad”. Esta idea fue ampliamente desarrollada por el epistemólogo estadounidense Thomas Kuhn.

en contra de la “conversión” de un científico al nuevo modelo. Y lo mismo sucede con los factores sociales –las presiones académicas y laborales, las líneas políticas y económicas de un Estado, la religión, entre otros muchos–. La idea de racionalidad moderada, que le presentamos brevemente en el capítulo 1, pretende dar cuenta de este costado “humano”, falible, del proceder científico.

Pero la ciencia es también una actividad autocorrectiva, que se desarrolla con la colaboración de diferentes *comunidades*. Mientras los científicos descubren e inventan, hay un marco gubernamental que los sostiene y financia, determinando las líneas en las que se ha de trabajar y los usos que se hacen de los resultados de la investigación y de la innovación. Y también hay un conjunto de personas que *evalúan* los logros de la ciencia, poniendo límites a la actividad de los científicos. Estos límites tienen muchas veces una naturaleza *ética*: la sociedad decide qué medios pueden utilizar los científicos para alcanzar determinados fines, con base, por ejemplo, en que la dignidad de las personas debería ser un valor irrenunciable.

La ciencia en el aula

Ver la ciencia como una *actividad* compleja llevada adelante por muchas personas con diferente formación, injerencia y responsabilidad tiene hondas implicaciones en la forma en que enseñamos las ciencias naturales en la escuela. Por un lado, podemos reconocer que los estudiantes son reacios a abandonar sus ideas sobre el mundo natural, ideas que para ellos poseen un alto valor cognitivo y afectivo al haber sido construidas en la experiencia individual y en las relaciones interpersonales. En este sentido se parecen a los científicos, que a veces no se convencen tan fácilmente de las ideas nuevas por muy “racionales” que sean los argumentos con los cuales se les presentan.

Por otro lado, una ciencia escolar verdaderamente rica debería tener en cuenta la interacción *social* del estudiante en la clase de ciencias naturales con sus compañeros, con el profesor y con los materiales, tomando en consideración que las relaciones entre los científicos en comunidades son fundamentales para el avance de la ciencia. Y por último, tenemos disponible una imagen de ciencia dinámica, “de todos y todas”, en la cual los ciudadanos podemos y debemos tomar decisiones responsables en materia tecnocientífica.

Para aprender más

- Sobre axiología: J. Echeverría (1995), *Filosofía de la ciencia natural*, Madrid, Akal.
- Sobre la construcción del modelo de doble hélice para el ADN: R. C. Olby (1991), *El camino hacia la doble hélice*, Madrid, Alianza.

Hello, Dolly

Esta actividad quiere seguir aproximándolo al tema de los valores en las ciencias naturales, especialmente enfocado desde el punto de vista de las relaciones entre ciencia y sociedad. La idea epistemológica que introducimos es la de *contextos* (brevemente presentada en el capítulo 2).

En el cuadro 3 se propone una serie de asuntos científicos actuales que generan una gran polémica en la sociedad. Se trata de elegir uno de ellos y trabajarlos con sus colegas o estudiantes.

CUADRO 3

Le damos una lista de asuntos sociocientíficos junto con algunos materiales "disparadores" que sirven para tratarlos en forma amena y accesible:

1. *La eugenesia, o creación de descendientes "a medida"*. Se puede centrar la discusión en la película *Gattaca*⁶ (1997, dirigida por Andrew Niccol), en la cual la ingeniería genética del siglo XXI es puesta al servicio de la erradicación de las enfermedades humanas. En esta película se plantea el problema del acceso diferencial a la biotecnología, que se va tornando más difícil para los grupos sociales desfavorecidos (y uno puede imaginar que para los países periféricos también).

continúa

continuación

2. *La clonación, o creación de réplicas genéticas*. Se puede utilizar la película *The boys from Brazil*⁷ (1978, dirigida por Franklin Schaffner). Inspirada libremente en los aberrantes experimentos médicos del doctor Josef Mengele durante el Tercer Reich, esta película postula la posibilidad del uso de la biotecnología con un fin maléfico: la creación de clones de Adolf Hitler.
3. *La transgenia, o creación de individuos genéticamente modificados*. Se puede trabajar con artículos de periódicos y páginas web sobre las polémicas generadas alrededor del patentamiento de variedades transgénicas de cereales como la soja.

Elija uno de los tres asuntos y encare las siguientes tareas:

- Identifique alguna controversia social que se haya generado recientemente alrededor del asunto elegido por usted (por ejemplo: el siniestro anuncio del médico italiano Severino Antinori acerca de la existencia de bebés clónicos "en camino").
- Discuta: ¿qué dilemas éticos podría plantear esta tecnología?
- En su opinión, ¿quiénes deberían decidir y normar sobre las cuestiones suscitadas por su aplicación?

Las temáticas del cuadro 3 son llamadas *sociocientíficas* porque su tratamiento involucra no sólo conocimientos científicos y tecnológicos, sino también decisiones que trascienden con mucho el ámbito de la ciencia. Por ejemplo, el conocimiento biológico sobre qué es un clon y cómo se fabrica no proporciona suficiente justificación ni para fomentar ni para prohibir la clonación humana con fines reproductivos. Para tomar decisiones en uno u otro sentido, la sociedad en su conjunto –a través de sus representantes– debe sopesar, además de los aspectos estrictamente tecnocientíficos naturales, cuestiones relacionadas con la ética, la política, la economía, la jurisprudencia y los derechos humanos. Elementos culturales locales, como las tradiciones, la cosmovisión o la religión de un determinado pueblo, y universales, como los

⁶ Titulada en castellano *Gattaca, experimento genético* o *Gattaca. Un experimento genético*.

⁷ Conocida en castellano con el título de *Los niños del Brasil*.

tratados internacionales o el respeto por la dignidad humana, tendrán sin duda gran influencia en las decisiones que se tomen.

Esto nos lleva a concluir que el trabajo de los biólogos moleculares que se ocupan de estos temas es sólo una pequeña parcela —o contexto— de la ciencia como actividad humana. La ciencia avanza mediante el entrelazo de muchos otros contextos. Los funcionarios sientan las bases políticas y económicas que priorizan y financian tales o cuales líneas de investigación; tales prioridades pueden sufrir graves distorsiones en tiempos de guerra, llegándose a “ablandar” bastante los estándares éticos de la ciencia. Los legisladores norman los límites de la investigación científica y tecnológica, asesorados por intelectuales, filósofos y religiosos. Los ingenieros y técnicos aplican el conocimiento a la transformación del mundo, a menudo guiada por la voluntad de elevar la calidad de vida de la población. Los profesores, divulgadores y periodistas comunican la ciencia a las distintas poblaciones y consiguen con ello que algunos estudiantes se vuelquen hacia las carreras científicas, realimentando así el sistema.

Para aprender más

– Sobre contextos y valores: J. Echeverría (2002), *Ciencia y valores*, Barcelona, Ediciones Destino.

– Sobre bioética: R. Muler (2002), *Genes, clones y sociedad. Dilemas bioéticos*, Buenos Aires, Aique.

¿Quién le teme al calvo de gafas?

En esta última actividad nos gustaría que usted aplique todo lo recorrido a lo largo del libro para reflexionar críticamente sobre cómo el público general ve a la ciencia y a los científicos.

La idea epistemológica que utilizamos es la de *imagen de ciencia* (esta idea se introdujo brevemente en la actividad de los fraudes científicos).

Comenzamos por intentar una caracterización de la imagen del científico en la sociedad (cuadro 4). Para ello le proponemos que utilice, como base para el debate con sus colegas o estudiantes, el cine de terror.

CUADRO 4

Revea y analice alguna película de terror clásica o del género llamado “gore” (caracterizado por una estética kitsch, abundancia de sangre y bajos presupuestos). Puede ser, por ejemplo: *Frankenstein*, con Boris Karloff (1931); *Drácula*, con Bela Lugosi (1931); *La momia*, también con Boris Karloff (1932); *Dr. Jekyll y Mr. Hyde*, con Spencer Tracey (1941); *El monstruo atómico*, con Lon Chaney, Jr. (1953); o *La isla del doctor Moreau*, con Burt Lancaster (1977).

• Discuta:

1. ¿Qué científico aparece en la película que usted eligió? ¿De qué especialidad es?
2. ¿Cómo se lo caracteriza? Apunte su aspecto general (género, edad, etnia), rasgos físicos, atuendo, costumbres, lugar de trabajo, ideología, ética.
3. ¿Cuáles son los objetivos y motivaciones de este científico?
4. ¿Qué roles se asigna a las mujeres que aparecen en el entorno del científico (madres, novias, secretarias, admiradoras, víctimas, etcétera)?

• Si vio más de una de las películas de la lista, ¿puede encontrar rasgos comunes o estereotipos y describir un “científico típico” del cine?

Seguramente usted llegó al final de la actividad anterior francamente deprimido. ¿Para qué el esfuerzo de enseñar las ciencias naturales en la escuela como un conocimiento valioso e importante si después circulan estas imágenes de científicos en el cine? Un rasgo común que probablemente usted haya encontrado en *Frankenstein*, *Jekyll* y *Moreau* es su desmedida soberbia, que los lleva a “interferir” en la naturaleza sin medir las consecuencias de sus actos.

Podríamos aducir que las películas que le propusimos son bastante antiguas, que desde entonces ha corrido agua bajo el puente y que hoy estamos mejor en lo que hace a la divulgación científica. Lamentablemente, parece que éste no es el caso, si aplicamos el cuestionario del cuadro 4 al análisis de

las recientes recreaciones que Anthony Hopkins, Kenneth Branagh y Marlon Brando hacen de Abraham Van Helsing, Viktor Frankenstein y el doctor Moreau respectivamente. Podríamos pensar también que este trío macabro es una excepción con voluntad didáctica, que el cine nos quiere mostrar lo peligrosos que pueden llegar a ser algunos científicos cuando no tienen un estricto código de conducta. La tarea del cuadro 5 pronto le quitará este consuelo: hasta la imagen usual del científico “bueno” es defectuosa, estereotipada y discriminatoria.

CUADRO 5

- Caracterice globalmente la imagen que la sociedad tiene de los científicos, por medio de generalizaciones (del tipo: “los científicos son varones, geniales, aburridos, despeinados, cargan muchos libros, mezclan líquidos que explotan...”). Para encontrar rasgos comunes, consiga imágenes de científicos de fuentes variadas, por ejemplo: biografías, cómics, comerciales de TV, documentales..

Si tuvo mucha suerte con los ejemplos recolectados en su búsqueda, el epítome de científico que usted ha construido se parecerá bastante al del cuadro 6. Este estereotipo puede tener consecuencias impensadas en nuestros estudiantes.

CUADRO 6

En una investigación didáctica realizada en el Fermilab (Batavia, Illinois, Estados Unidos), estudiantes de primaria, antes de entrar a conocer las instalaciones y a quienes trabajan en ellas, dibujaron científicos como el siguiente:⁸

continúa

⁸ Véase la página web <http://www-ed.fnal.gov/projects/scientists>.

continuación

- Discuta:

1. ¿De dónde pueden haber recogido los estudiantes esta imagen de científico?
2. Mencione por lo menos una consecuencia negativa de este tipo de imágenes en la alfabetización tecnocientífica de la población general.



El estereotipar a los científicos (viéndolos casi siempre como varones blancos de mediana edad) puede excluir desde el inicio a algunos grupos de las carreras científicas; por ello, los profesores de ciencias naturales tenemos que estar particularmente atentos a estas imágenes distorsivas. Un aspecto central de la imagen popular de la ciencia consiste en que generalmente se cree que el lenguaje científico es sesudo y críptico, y por ende inaccesible y elitista (usted puede ver esto, por ejemplo, en el discurso de los falsos científicos que promocionan jabones para lavar la ropa en la televisión). Esta apariencia de desmedida complejidad de la ciencia genera en los estudiantes ideas tales como “no puedo entender” o “no soy capaz”, de corte francamente discriminatorio, que deberíamos atacar en nuestras aulas para acercar a todos nuestros estudiantes a las ciencias naturales.

Para aprender más

- Sobre las imágenes de ciencia: N. Sanmartí (2002), *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria*, Madrid, Síntesis.
- Sobre el lenguaje de las ciencias: J. Ogborn, G. Kress, I. Martins y K. McGillicuddy (1998), *Formas de explicar. La enseñanza de las ciencias en secundaria*, Madrid, Santillana.

¿Qué sabemos ahora sobre el tercer eje?

Una vez más le sugerimos volver la mirada atrás para recoger las ideas de naturaleza de la ciencia discutidas en este capítulo y adscribir las a las cuestiones organizadoras enumeradas al inicio (cuadro 7).

CUADRO 7

- Elabore un cuadro en el cual ubique las ideas epistemológicas recorridas en las tres actividades de este capítulo dentro de cada una de las cuestiones de la introducción (contextos, valores, lenguajes).

En la línea de examinar las comunidades que hacen ciencia (contextos), hemos caracterizado el quehacer científico como una actividad compleja que se desarrolla con la participación de variados actores (científicos, tecnólogos, políticos, empresarios, educadores, opinión pública) y en diversos ámbitos (las instituciones de investigación, el sistema educativo, el gobierno, la empresa, los medios de comunicación). Así, hemos señalado que el debate sobre la clonación humana atraviesa muchos estamentos sociales.

En la línea de analizar las normas que guían la ciencia (valores), hemos visto que existen imperativos de conducta que tienen que ver tanto con la propia ciencia como con sus implicaciones sociales. Tales normas pueden incumplirse por razones egoístas, tal como se entrevé en la acusación de Peruchó hacia Vogelstein.

En la línea de caracterizar la ciencia como producto cultural (lenguajes), hemos visto que de alguna manera la sociedad fomenta imágenes de ciencia "falseadas" que obstruyen su completa democratización. Existe una tendencia a excluir al público general de las decisiones tecnocientíficas, que nosotros como profesores podemos ayudar a revertir por medio de una enseñanza de las ciencias naturales que contenga un fuerte componente de naturaleza de la ciencia.

Manos a la obra

Queremos terminar revisando rápidamente lo recorrido a lo largo de estas páginas para animarlo en la tarea de diseñar sus propias unidades didácticas dirigidas a enseñar la naturaleza de la ciencia en sus clases de ciencias naturales.

Todas las actividades de este libro comparten una misma estructura:

1. Se enfocan sobre la enseñanza de una idea epistemológica sencilla, por ejemplo, que *las observaciones y experimentaciones de las ciencias naturales están cargadas de teoría* ("Vampiros en Valaquia", capítulo 2).
2. Aplican esa idea epistemológica a un episodio paradigmático de la historia de la ciencia, por ejemplo, *la invención de los marcadores radiactivos por parte de George de Hevesy* ("El guiso fantasmagórico", capítulo 3).
3. Parten de un problema con significación para el destinatario, por ejemplo, *reconstruir la imagen de científico que circula en los medios de comunicación masivos* ("¿Quién le teme al calvo de gafas?", capítulo 4).
4. Debido a la complejidad del manejo simultáneo de los contenidos científicos, históricos y epistemológicos, hacen uso de la potencia del pensamiento analógico; por ejemplo, *se compara el lenguaje metafórico de un niño con el de un científico* ("Matías analógico", capítulo 2).

Estos cuatro puntos son, por así decirlo, nuestras *directrices didácticas* para el diseño de actividades encaminadas a enseñar la naturaleza de la ciencia.

Tenga en cuenta que, en el contexto de nuestra labor como profesores de ciencias naturales, la naturaleza de la ciencia no debería ser un fin en sí mismo, sino un instrumento para que nuestros estudiantes puedan pensar algo valioso sobre las propias ciencias. El objetivo final ha de ser, creemos, conseguir una alfabetización científica de calidad para todos.

Para seguir pensando sobre el eje sociológico

– H. Collins y T. Pinch (1996), *El gólem: lo que todos deberíamos saber acerca de la ciencia*, Barcelona, Crítica.

Este libro pretende desmitificar la ciencia mostrando su costado más humano desde una postura fuertemente relativista que descrea de la superioridad de la ciencia como creación intelectual.

– R. C. Lewontin (2001), *El sueño del genoma humano y otras ilusiones*, Barcelona, Paidós.

En este trabajo muy polémico, Richard Lewontin, que se cuenta entre los más prestigiosos biólogos moleculares del mundo, pone sobre el tapete un posible trasfondo ideológico del Proyecto Genoma Humano.

Anexo

Ideas con dueño

Abducción: forma de razonamiento que de algún modo es capaz de generar hipótesis para explicar fenómenos. Quien más ha trabajado la idea de abducción desde su formalismo y sus implicaciones es el semiólogo estadounidense Charles Sanders Peirce (1839-1914).

Carga teórica de la observación: sesgo que tienen las observaciones y experimentaciones causado por los compromisos teóricos y metodológicos de los científicos. Idea introducida con fuerza por el epistemólogo estadounidense Norwood Russell Hanson (1924-1967).

Construcción de los hechos científicos: proceso por el cual la realidad se reconstruye y se resignifica desde la teoría con la cual es explicada. Esta expresión aparece como subtítulo del libro del francés Bruno Latour (1947-) y del inglés Stephen Woolgar, *La vida en el laboratorio*, cuya segunda edición revisada apareció en los Estados Unidos en 1986.

Contexto de descubrimiento: circunstancias que acompañan al momento en que se produce nuevo conocimiento en las ciencias. La distinción clásica entre el contexto de descubrimiento y el de justificación está asociada al nombre del epistemólogo alemán, que adoptó la ciudadanía estadounidense, Hans Reichenbach (1891-1953).

Falsacionismo: también llamado “refutacionismo”. Reconstrucción de la metodología de la ciencia que supone que ésta procede por “conjeturas y refutaciones”, es decir, inventando hipótesis audaces y tratando de probar que son falsas por medio de la intervención empírica. La concepción falsacionista es introducida por el filósofo austríaco (luego nacionalizado inglés) sir Karl Popper (1902-1994).

Paradigma: conjunto de problemas y sus soluciones que funciona como modelo teórico y metodológico para el trabajo de una comunidad científica. La idea es desarrollada en profundidad por el epistemólogo estadounidense Thomas Kuhn (1922-1996).

Tecnociencia: entidad compleja con componentes teóricos, de aplicación, de diseño y de transformación, en la cual ciencia y tecnología se alimentan mutuamente y quedan integradas. Se atribuye la introducción del término

a Bruno Latour. La idea de tecnociencia ha sido trabajada por el canadiense Ian Hacking (1936-) y el español Javier Echeverría (1948-), entre otros muchos autores.

Términos teóricos: palabras del lenguaje científico que sólo cobran completo sentido dentro del sistema de una teoría, al quedar de algún modo definidas por sus axiomas, y que por tanto no remiten directamente a entidades observables en el mundo. La idea fue discutida con detalle por la escuela epistemológica llamada *positivismo lógico*, del segundo cuarto del siglo XX. Su tratamiento fundacional se identifica con el nombre del alemán Moritz Schlick (1882-1936); debemos su revisión crítica al alemán, luego estadounidense, Carl Hempel (1905-1997).

Bibliografía de consulta en castellano

- ACEVEDO DÍAZ, J. A. y P. Acevedo Romero (s/f), "Creencias sobre la naturaleza de la ciencia. Un estudio con titulados universitarios en formación inicial para ser profesores de educación secundaria", en: *OEI-Revista Iberoamericana de Educación*. En línea: <http://www.campus-oei.org/revista/deloslectores/244Acevedo.PDF>.
- ADÚRIZ-BRAVO, A. (2003), "La muerte en el Nilo. Una propuesta para aprender sobre la naturaleza de la ciencia en el aula de ciencias naturales de secundaria", en: A. Adúriz-Bravo, G. A. Perafán y E. Badillo (comps.), *Actualización en didáctica de las ciencias naturales y las matemáticas*, Bogotá, Editorial Magisterio, pp. 129-138.
- ADÚRIZ-BRAVO, A. y M. Izquierdo, (2002), "Directrices para la formación epistemológica del futuro profesorado de ciencias naturales", en: G. A. Perafán y A. Adúriz-Bravo (comps.), *Pensamiento y conocimiento de los profesores. Debate y perspectivas internacionales*, pp. 127-139, Bogotá, Universidad Pedagógica Nacional-Colciencias.
- ADÚRIZ-BRAVO, A.; M. Izquierdo, y A. Estany (2002), "Una propuesta para estructurar la enseñanza de la filosofía de la ciencia para el profesorado de ciencias en formación", en: *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), pp. 465-476.
- BAKKER, G. y L. Clark (1994), *La explicación. Una introducción a la filosofía de la ciencia*, Buenos Aires, Fondo de Cultura Económica.
- CHALMERS, A. (1992), *La ciencia y cómo se elabora*, Madrid, Siglo XXI.
- GALAGOVSKY, L. y A. Adúriz-Bravo (2001), "Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico", en: *Enseñanza de las Ciencias*, 19(2), pp. 231-242.
- IZQUIERDO, M. (1996), "Relación entre la historia y la filosofía de la ciencia y la enseñanza de las ciencias", en: *Alambique*, 8, pp. 7-21.
- JIMÉNEZ, M. P. (1995), "Comparando teorías: la reflexión epistemológica sobre la naturaleza de la ciencia en la formación del profesorado", en: L. J. Blanco y V. Mellado (comps.), *La formación del profesorado de ciencias y matemáticas en España y Portugal*, Badajoz, Diputación Provincial, pp. 267-280.
- MATTHEWS, M. (1994), "Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual", en: *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), pp. 255-277.

MELLADO, V. (2003), "Cambio didáctico del profesorado de ciencias experimentales y filosofía de la ciencia", en: *Enseñanza de las Ciencias*, 21(3), pp. 343-358.

SIMÓN, J.; V. Litterio, y A. Adúriz-Bravo (2005), "Diseño de una secuencia sobre sistema endocrino", en: *Novedades Educativas*, 17(172), pp. 44-45.

Índice

Introducción	9
1. La naturaleza de la ciencia en la enseñanza	
de las ciencias naturales	11
¿Qué es la naturaleza de la ciencia?	12
¿Qué naturaleza de la ciencia se presenta en este libro?	14
Para aprender más	15
¿Cómo se estructura este libro?	15
Poniéndonos de acuerdo	16
Para seguir pensando sobre las relaciones entre la naturaleza de la ciencia y la enseñanza de las ciencias naturales	18
2. ¿Qué es la ciencia y cómo se elabora?	19
Descríbame un cromosoma	19
¿Y en las clases de ciencias?	23
Para aprender más	24
El aceite de Lorenzino	25
Para aprender más	28
Matías analógico	28
Modelo analógico	30
Análogo concreto	31
Epítome	32
Para aprender más	32
Vampiros en Valaquia	33
Para aprender más	38
Los descubrimientos del radio	38
Para aprender más	42
La muerte en el Nilo	42
Lógico interludio	44
Volvamos a Egipto	50

Reconstrucción abductiva de un episodio de la historia de la ciencia	54
Para aprender más	57
¿Qué sabemos ahora sobre el primer eje?	57
Contra el método	58
Para seguir pensando sobre el eje epistemológico	60
3. ¿Cómo cambia la ciencia?	61
El guiso fantasmagórico	61
Para aprender más	67
El impertinente péndulo de Richer	67
Si pe, entonces cu	68
¿Qué métodos científicos se generan?	69
Momento de pánico	73
Para aprender más	75
Disputas de farmacéuticos	75
Para aprender más	81
¿Qué sabemos ahora sobre el segundo eje?	81
Para seguir pensando sobre el eje histórico	82
4. ¿Cómo se relaciona la ciencia con la sociedad y la cultura?	83
Ciencia hurtada	83
La ciencia en el aula	87
Para aprender más	88
Hello, Dolly	88
Para aprender más	90
¿Quién le teme al calvo de gafas?	90
Para aprender más	93
¿Qué sabemos ahora sobre el tercer eje?	94
Manos a la obra	95
Para seguir pensando sobre el eje sociológico	95
Anexo. Ideas con dueño	97
Bibliografía de consulta en castellano	99

Esta edición de *Una introducción a la naturaleza de la ciencia*, de Agustín Adúriz-Bravo, se terminó de imprimir en el mes de julio de 2005 en Nuevo Offset, Viel 1444, Capital Federal, República Argentina.

Agustín Adúriz-Bravo

Una introducción a la naturaleza de la ciencia

La epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales

Una introducción a la naturaleza de la ciencia analiza los aportes que puede hacer la epistemología a la enseñanza de las ciencias naturales en todos los niveles educativos, con especial énfasis en la educación media. La didáctica actual de las ciencias naturales propone que la alfabetización científica debe ser un aprendizaje de las ciencias pero también sobre las ciencias. Desde esta perspectiva Agustín Adúriz-Bravo se refiere a "naturaleza de la ciencia" para expresar una serie de ideas acerca de qué es la ciencia, cómo se elabora, se valida y se comunica y también de qué manera se relaciona con la tecnología, la sociedad, la cultura y la ética. La reflexión acerca de cada una de esas cuestiones se realiza a través de doce actividades didácticas originales utilizando películas, novelas directivas, tiras cómicas y sucesos científicos. De este modo, la idea epistemológica llamada "carga teórica de la observación" se aprende trabajando con las películas sobre Dracula y el folclore centro europeo referido a los vampiros; la tecnociencia se explica por medio de la anécdota del guiso fantasmagórico que posibilitó la primera aparición de los marcadores radioactivos; la axiología se introduce con casos de fraude científico como el que quizás ocurrió en ocasión del descubrimiento del VIH. Finalmente se presentan las directrices didácticas para que cada profesor pueda diseñar sus propias actividades de aula destinadas a enriquecer la enseñanza de las ciencias naturales y conseguir una alfabetización científica de calidad.



[DISEÑO CAFE]

ISBN 950-557-655-2



9 789505 576555