

Controversias en la historia de la ciencia y cultura científica

José Antonio Acevedo-Díaz y Antonio García-Carmona





JOSÉ ANTONIO ACEVEDO-DÍAZ

Licenciado en Ciencias (Sección de Químicas) por la Universidad de Sevilla. Ha sido catedrático de Bachillerato de Física y Química; profesor tutor de la UNED de diversas asignaturas de ciencias químicas durante doce cursos e inspector de Educación desde 1990 hasta su jubilación en el año 2009. Ha impartido varios cursos de formación inicial del profesorado de ciencias de Educación Secundaria en las Universidades de Málaga y Sevilla. Ha publicado un centenar de artículos de didáctica de las ciencias experimentales, un libro, varios capítulos de libros, así como participado con numerosas ponencias y comunicaciones en congresos nacionales e internacionales. Sus principales contribuciones a la educación científica se centran en el enfoque CTS para la enseñanza de las ciencias, la enseñanza de la naturaleza de la ciencia y la historia de la ciencia.

ANTONIO GARCÍA-CARMONA

Licenciado en Ciencias Físicas, doctor en Didáctica de las Ciencias Experimentales y profesor titular de esta especialidad en la Universidad de Sevilla. Ha sido profesor de Física y Química en Educación Secundaria durante más de una década. Dedicado a la investigación para la mejora de la educación científica desde hace casi dos décadas, ha publicado numerosos artículos en revistas nacionales e internacionales, varios libros y capítulos de libros y gran cantidad de comunicaciones en congresos nacionales e internacionales. Sus principales contribuciones se centran en el aprendizaje de la ciencia por indagación, la comprensión y enseñanza de la naturaleza de la ciencia, y el enfoque educativo CTS.

José Antonio Acevedo-Díaz
y Antonio García-Carmona

Controversias en la historia de la ciencia y cultura científica



SERIE ENSAYOS CIENCIA Y SOCIEDAD
DIRIGIDA POR JUAN CARLOS TOSCANO

PROYECTO "ALTA DIVULGACIÓN" DE LA CÁTEDRA CTS+I
DE LA OEI



© JOSÉ ANTONIO ACEVEDO-DÍAZ Y ANTONIO GARCÍA-CARMONA, 2017

© ORGANIZACIÓN DE ESTADOS IBEROAMERICANOS
PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA, 2017

© LOS LIBROS DE LA CATARATA, 2017
FUENCARRAL, 70
28004 MADRID
TEL. 91 532 20 77
FAX. 91 532 43 34
WWW.CATARATA.ORG

CONTROVERSIAS EN LA HISTORIA DE LA CIENCIA
Y CULTURA CIENTÍFICA

ISBN: 978-84-9097-323-3
DEPÓSITO LEGAL: M-13.968-2017
IBIC: PDZ/PDX

ESTE LIBRO HA SIDO EDITADO PARA SER DISTRIBUIDO. LA INTENCIÓN DE LOS EDITORES ES QUE SEA UTILIZADO LO MÁS AMPLIAMENTE POSIBLE. QUE SEAN ADQUIRIDOS ORIGINALES PARA PERMITIR LA EDICIÓN DE OTROS NUEVOS Y QUE, DE REPRODUCIR PARTES, SE HAGA CONSTAR EL TÍTULO Y LA AUTORÍA.

ÍNDICE

PRÓLOGO, por Mariano Martín Gordillo 9

PREÁMBULO 13

CAPÍTULO 1. LA CIENCIA COMO PARTE DE LA CULTURA 15

CAPÍTULO 2. HISTORIA DE LA CIENCIA 22

CAPÍTULO 3. SEMMELWEIS Y LA FIEBRE PUERPERAL 32

CAPÍTULO 4. LA CONTROVERSIA ENTRE PASTEUR
Y POUCHET SOBRE LA GENERACIÓN ESPONTÁNEA 44

CAPÍTULO 5. LA CONTROVERSIA ENTRE PASTEUR
Y LIEBIG SOBRE LA FERMENTACIÓN 58

CAPÍTULO 6. ROSALIND FRANKLIN Y LA DOBLE
HÉLICE DEL ADN 71

**CAPÍTULO 7. LA CONTROVERSIA TESLA VERSUS EDISON SOBRE
LAS DOS CORRIENTES ELÉCTRICAS - AC/DC 88**

EPÍLOGO 99

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 105

PRÓLOGO

Tales, Euclides, Newton, Ohm, Coulomb, Faraday, Mendel... En las viejas pizarras escolares y en nuestros libros de texto eran frecuentes los nombres propios de la historia de la ciencia. De hecho, nos resultaban muy útiles como ayuda mnemotécnica. Mientras aprendíamos a retener conceptos o a resolver problemas, no nos venía nada mal la ayuda de palabras tan sonoras como Pitágoras, Avogadro, Ruffini o Gay-Lussac para identificar teoremas, constantes, reglas o leyes. Cosas que, por lo demás, tampoco diferenciábamos con mucha claridad.

Pero ¿quiénes eran esas gentes? ¿Cuándo vivieron? ¿Hicieron algo más que bautizar conceptos que nosotros debíamos aprender? ¿Tuvieron otra vida que la de los libros de texto? Estas preguntas pocas veces eran respondidas. Había demasiada prisa. Los programas de ciencias eran largos y no se podía perder el tiempo humanizándolos. Lo importante eran los conocimientos, no cómo se había llegado a ellos. Aunque menos señalada, esa era otra de las

brechas entre las dos culturas. Los nombres propios de la ciencia enseñada eran abstractos e intemporales, los de las humanidades escolares casi siempre eran hijos de un lugar y de un tiempo. Algo que no solo contribuía a alejar la ciencia de las personas, sino también a falsificarla.

En las últimas décadas han venido apareciendo tímidamente en nuestras aulas algunos espacios curriculares protegidos en los que la enseñanza de lo científico ha podido liberarse un poco de las prisas, de las inercias y de los compartimentos estancos. Ciencia, Tecnología y Sociedad, Ciencias para el Mundo Contemporáneo o Cultura Científica son los nombres de nuevas asignaturas que se han venido sucediendo en España, en las que resulta un poco más fácil abordar las cuestiones propias de la naturaleza de la ciencia que antes quedaban opacadas por la disciplina de las disciplinas.

Hoy nadie puede considerarse culto si no conoce la importancia de contribuciones científicas y tecnológicas como las de Pasteur, Edison o Watson y Crick. Sin embargo, a veces nombres como estos pueden convertirse de nuevo en hitos heroicos, en meros iconos de progresos tecnocientíficos que acaban ocultando los procesos y casi falsificando la naturaleza de la ciencia. Por eso, conviene saber en qué tenía razón y en qué no Pasteur frente a Pouchet y frente a Liebig, en qué era más hábil Edison que Tesla o qué parte de su Nobel le debían Watson y Crick a Franklin (o por qué a esta no se la cita solo por su apellido como se suele hacer con aquellos).

José Antonio Acevedo-Díaz y Antonio García-Carmona han tenido el acierto de sintetizar de forma diáfana cinco episodios de la historia de la ciencia particularmente relevantes para entender su naturaleza. Y han conseguido que el resultado sea tan atractivo para el lector curioso como útil para el docente en su aula. De hecho, ambos vienen de esta y de la investigación sobre una didáctica de las ciencias

particularmente atenta a lo que los enfoques de Ciencia, Tecnología y Sociedad y de Naturaleza de la Ciencia pueden aportar a la educación de los ciudadanos y también en la formación de los futuros científicos.

Como pasa tantas veces, quizás también en este libro sea recomendable dejar para el postre los dos primeros capítulos. Esos que iluminan algunas de las lecciones que cabe extraer de los cinco episodios de controversias históricas que, de forma tan amena y rigurosa, se reconstruyen en esta obra. Unas lecciones que encuentran también una guía particularmente útil en los cuadros que los autores han incluido al final de cada capítulo.

Sin duda, este libro contribuye a demostrar que otra forma de entender la educación tecnocientífica es posible y necesaria. Por eso es un acierto que José Antonio López Cerezo y Juan Carlos Toscano hayan querido incluirlo en esta cuidada colección que, desde la Cátedra Ibérica CTS+I de la OEI y la Consejería de Economía y Conocimiento de la Junta de Andalucía, edita Los Libros de la Catarata.

Que los autores hayan seleccionado como primer caso el del doctor Semmelweis y como último el de Edison y Tesla pone de manifiesto que la naturaleza de la ciencia y la relevancia que en ella tienen los factores no epistémicos no es un asunto que pueda interesar solo a quienes tienen afinidad hacia la ciencia básica. Y revela también que los artífices de la ciencia y la tecnología no deben quedar reducidos a la condición de hitos mnemotécnicos para escolares, sino que fueron protagonistas de episodios humanos que en su momento tuvieron tanta importancia para mejorar la vida de las personas como interés sigue teniendo ahora su conocimiento.

MARIANO MARTÍN GORDILLO

Coordinador de Educación de la Red de Cátedras CTS+I

PREÁMBULO

Cuando Mariano Martín Gordillo y Juan Carlos Toscano nos sugirieron escribir este libro, no lo tuvimos claro del todo. La demanda de que fuera un libro divulgativo de cultura científica, basado en las narraciones de controversias científicas históricas que habíamos publicado en diferentes artículos (Acevedo-Díaz y García-Carmona, 2016 a, b, c; Acevedo-Díaz, García-Carmona y Aragón, 2016 a, b), no nos acababa de convencer del todo. Somos educadores e investigadores en didáctica de las ciencias experimentales, y nuestras publicaciones se encuadran en la educación científica formal; más concretamente en la formación del profesorado de ciencia (Acevedo-Díaz, García-Carmona y Aragón, 2017). Sin embargo, al final aceptamos el reto que se nos proponía. Como preveíamos, la tarea no ha sido sencilla. Es cierto que disponíamos de los textos históricos, pero había que darles otro enfoque y fundamentarlos desde otra perspectiva para lograr que su utilidad divulgativa trascendiera más allá de los contextos de educación científica formal, y fuera útil para cualquier persona interesada en la ciencia.

Como si de una película se tratara, las controversias científicas de las historias seleccionadas tienen “actores principales” y “secundarios”, a menudo tan importantes estos últimos como los primeros. No menos relevantes son los escenarios de esas controversias, unas veces íntimos y otras veces públicos, que también tienen un papel esencial en el desarrollo de estas, como suele ocurrir en los mejores filmes.

Los principales personajes de los relatos son bastante conocidos en general: el húngaro Semmelweis, los franceses Pasteur y Pouchet, el alemán Leibniz, la inglesa Rosalind Franklin, el estadounidense Edison y el croata Tesla. No hemos considerado oportuno hacer una biografía breve de ellos por varios motivos. Uno de ellos es que en las narraciones se dan muchas pinceladas de sus formas de ser y de sus modos de contribuir a la ciencia o a la tecnología. Otro, que nuestro propósito no es hacer un retrato biográfico y mucho menos hagiográfico, como a menudo sucede por desgracia cuando se aborda la historia de la ciencia. Los lectores interesados en ello pueden encontrar fácilmente más información sobre estos personajes en la web. También lo pueden hacer consultando la bibliografía adicional de este libro, donde se recogen las principales fuentes que hemos examinado para elaborar los textos de las controversias, y que no están reflejadas en las citas y referencias bibliográficas.

Queremos expresar nuestro agradecimiento especial a Mariano Martín Gordillo, que ha tenido la generosidad de prologar el libro con su estilo impecable. A Juan Carlos Toscano por su estímulo constante. A la Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura por la promoción del libro. Y a la editorial Los Libros de la Catarata por la publicación.

El reconocimiento de la ciencia como expresión cultural cuenta con cierta aceptación en el presente, aunque no siempre ha tenido el mismo predicamento. Durante mucho tiempo ha imperado la división entre una cultura de letras y otra de ciencias, que conviven separadas en la sociedad. Esta perspectiva fue denominada por Snow la "tesis de las dos culturas", en 1959, durante una conferencia que impartió en la Senate House de Cambridge. Disconforme con tal visión, Snow (1959) denunció lo contraproducente que resultaba para el mundo académico, y la ciudadanía en general, mantener la separación entre la cultura humanística, donde se integran las personas de letras (arte, literatura, música, etc.), y la cultura científica, que incluye a las personas de ciencias e ingenierías. En esta disyuntiva, la cultura científica suele salir peor parada; esto es, el desconocimiento o interés por la ciencia entre las personas de letras es más acentuado con frecuencia que el que tienen las personas de ciencias por las humanidades. Aun así, Snow no planteó una cultura científica enfrentada a la cultura humanística, sino

que consideraba imprescindible que ambas se comunicaran entre sí; es decir, que las dos formaran parte de una cultura general más amplia y completa.

Es justo reconocer, no obstante, que a la brecha entre las dos culturas se ha contribuido desde ambas partes mediante un enfrentamiento estéril. Por ejemplo, el cientifismo derivado del positivismo ha llevado a bastantes científicos a despreciar su responsabilidad con la divulgación y comunicación comprensible de sus conocimientos a la sociedad. Asimismo, ha contribuido también a que muchas personas tengan una visión deshumanizada de la ciencia, que además parece estar más allá de las capacidades e intereses del ciudadano medio; una idea que ha aislado, en buena medida, a la ciencia de la cultura humanística.

Pero ¿qué significa cultura científica? Según Godin y Gingras (2000), el término "cultura científica" es algo difuso, pues coexiste con otros como "alfabetización científica" y "comprensión pública de la ciencia"; con lo cual, se suele usar de manera imprecisa debido a su polisemia. Estos autores sugieren la siguiente definición (que también incluye a la "cultura tecnológica"): "Cultura científica y tecnológica es la expresión de todas las formas mediante las cuales las personas y la sociedad se apropian de la ciencia y la tecnología" (Godin y Gingras, 2000: 44). Asimismo, de acuerdo con la propuesta de Snow (1959, 1977), Godin y Gingras proponen un modelo en el que la cultura científica y tecnológica es un subconjunto de la cultura general de la sociedad: "La ciencia y la tecnología [...] son un fenómeno social basado en el esfuerzo colectivo, que deben ser incluidas necesariamente como formas de organización social de la cultura" (Godin y Gingras, 2000: 53).

Más allá del enfrentamiento, y como avanzábamos al inicio, hoy parece fuera de duda que la ciencia es una forma más de cultura hecha por personas y para la humanidad;

aunque quizás un tipo de cultura un tanto particular. Sin llegar a pensar ingenuamente que las barreras entre las dos culturas han desaparecido del todo, hoy se tiende a reconocer, desde ambos lados, que la ciencia es parte inherente y medular de la cultura, si bien es necesario seguir trabajando en el establecimiento de puentes entre ambas perspectivas y procurar que la sociedad mejore su comprensión pública de la ciencia. Pero ¿qué entendemos por esto último?

Aunque a veces se identifica “comprensión pública de la ciencia” con “comprensión de la ciencia por el público”, ambas no significan lo mismo. La primera, que es la que defendemos, se refiere a la comprensión de la ciencia por la ciudadanía con el propósito de que pueda participar democráticamente en la evaluación y toma de decisiones sobre asuntos de interés social relacionados con la ciencia y la tecnología. Esta visión está también en consonancia, por ejemplo, con la iniciativa “Ciencia con y para la Sociedad”¹, promovida en el Programa Marco Horizonte 2020 para la Investigación e Innovación en la Unión Europea, que establece entre sus objetivos acciones destinadas a promover “la participación ciudadana en la ciencia, de manera que los ciudadanos desarrollen intereses y capacidades hacia la ciencia que les permitan participar activamente en actividades científicas”.

En cambio, la perspectiva referida como “comprensión de la ciencia por el público” considera a las personas legas en ciencia y tecnología como meros espectadores que deben permanecer atentos a ellas y apoyarlas moral, política y económicamente, pero con un papel más bien pasivo; con lo cual, se asume que la evaluación y toma de decisiones en los asuntos de ciencia y tecnología queda reservada a los expertos. Esta posición es sostenida por algunos movimientos

1. <http://eshorizonte2020.es/mas-europa/ciencia-con-y-para-la-sociedad>

proalfabetización científica y tecnológica, que integran a muchos científicos e ingenieros. Por tanto, tiene especial relevancia preguntarse qué alfabetización científica y tecnológica se pretende para la ciudadanía y cuáles son sus propósitos. Todo esto implica, entre otras cosas, cuestionarse qué ideología se está sustentando con ella.

Fehér (1990) ha reflexionado sobre el papel que debería tener el público —la ciudadanía— en la comprensión de la ciencia, según las aportaciones de pensadores de diferentes creencias y especialidades, concluyendo que:

Muchas contribuciones excelentes tratan de cómo el público puede promover o dificultar —por medios políticos o financieros— la *investigación* científica, pero ninguna de ellas acerca de si el público tiene o puede tener algún tipo de papel en el proceso de cognición *científica* y de cómo esto afectaría a la evaluación y aceptación de los enunciados de conocimiento *en el interior* de la propia ciencia (Fehér, 1990: 421; las cursivas están en el original).

Fehér (1990) destaca también que en los orígenes de la ciencia moderna, durante el siglo XVII, la relación entre la ciencia y el público, entre los filósofos naturales y las personas legas pero curiosas y libres de prejuicios, no fue igual a como sucedió con posterioridad: “La primera ciencia moderna precisaba no solo de apoyo moral —y en absoluto financiero— sino además, y en mayor grado, el apoyo cognitivo del público no especializado en el proceso de cognición” (Fehér, 1990: 423).

Con esto último la autora se refiere, por ejemplo, al programa de recogida de datos proyectado por Bacon, que requería de una amplia red de observadores y recolectores; o al de testigos de la experimentación pública, cuyo papel le fue asignado tantas veces al público por Boyle y Pascal, entre otros. En palabras de Fehér (1990: 425): “[...] un testimonio

externo se consideraba de mayor valor cognitivo, por ser más neutral, que uno interno”.

Sin embargo, con el nacimiento de una elite científica, a lo largo de la segunda mitad del siglo XVIII, todo esto cambió. La institucionalización de la ciencia y la posterior especialización de los científicos, hasta los extremos que conocemos hoy, fueron estableciendo una brecha cognitiva entre los profesionales de la ciencia y el público lego, que perdió su papel original, con las consecuencias a las que hemos aludido antes: se adjudica un papel esencial al público, pero este es pasivo.

Nuestra posición es que, entendida en un sentido amplio, la cultura científica incluye el conocimiento de nociones básicas de ciencia (contenidos), la comprensión de los aspectos metodológicos que esta emplea (procesos), el reconocimiento y comprensión de los principales rasgos de la ciencia (su naturaleza) y las relaciones mutuas entre la ciencia, la tecnología y la sociedad. Pero, además, consideramos que la cultura científica debe incorporar la democratización en la toma de decisiones sobre la ciencia (actuar con una actitud reflexiva y crítica), así como la gestión socialmente responsable de los riesgos y beneficios de esta (intervenir con responsabilidad). Con otras palabras, sostenemos que la adquisición de una cultura científica más holística permite a las personas interesarse y comprender el mundo que las rodea; implicarse en las discusiones *en* y *sobre* la ciencia; adoptar una actitud escéptica y cuestionadora; indagar para obtener conclusiones basadas en la evidencia y tomar decisiones informadas respecto a asuntos como, por ejemplo, el medioambiente o su propia salud y bienestar. Los orígenes de una cultura científica así entendida se encuentran en la educación formal, pero deben continuar una vez que ha finalizado esta.

Nadie que hoy pretenda considerarse culto debería ignorar la ciencia, su historia, sus hechos y su sentido global

como empresa humana. La necesidad de una alfabetización científica más amplia de la ciudadanía (esto es, una culturización *en y sobre* la ciencia) ha sido incluida en numerosos documentos internacionales. En ellos, la ciencia es reconocida como parte del proceso intelectual construido por la humanidad para conocer el marco natural donde vivimos y, por tanto, como un componente básico de la cultura de nuestro tiempo. Así, por ejemplo, en el punto 34 de la Declaración de Budapest sobre la Ciencia y el uso del saber científico (UNESCO-ICSU, 1999) se afirma que: “[...] hoy más que nunca es necesario fomentar y difundir la alfabetización científica en todas las culturas y todos los sectores de la sociedad, [...] a fin de mejorar la participación de los ciudadanos en la adopción de decisiones relativas a las aplicaciones de los nuevos conocimientos [...]”. Y, más adelante, en el punto 41, se añade que “[...] los programas de estudios científicos deberían incluir la ética de la ciencia, así como una formación relativa a la historia, la filosofía y las repercusiones culturales de la ciencia”.

Asimismo, en la Declaración de Granada, fechada el 27 de marzo de 1999 durante la celebración del primer Congreso sobre Comunicación Social de la Ciencia², se dice:

La ciencia es parte de la gran aventura intelectual de los seres humanos, uno de los muchos frutos de su curiosidad, del intento de representar el mundo en que vivimos. Como producto del pensamiento humano, la ciencia es un componente medular de la cultura, por lo que resulta urgente llevar a la consideración de todos, especialmente de los intelectuales de formación humanista, que la ciencia no es una actividad extraña a la vida y que, por tanto, sus respuestas también son de carácter cultural. Más aún: las ideas científicas, a veces de modo velado, condicionan profundamente las ideas sociales.

2. http://www.parqueciencias.com/parqueciencias/quienes_somos/declaraciones/declaracion-granada.html

[...] Es urgente incrementar la cultura científica de la población. La información científica es una fecundísima semilla para el desarrollo social, económico y político de los pueblos. La complicidad entre los científicos y el resto de los ciudadanos es una excepcional celebración de la democracia. Pero, además, esa nueva cultura contribuiría a frenar las supercherías disfrazadas de ciencia, aumentaría la capacidad crítica de los ciudadanos, derribaría miedos y supersticiones, haría a los seres humanos más libres y más audaces. Los enemigos a batir por la ciencia son los mismos que los de la filosofía, el arte o la literatura, esto es, la incultura, el oscurantismo, la barbarie, la miseria, la explotación humana.

Por último, cabe señalar que dos ideas clave están adquiriendo preponderancia también en la propia comunidad científica en la actualidad: i) la toma de conciencia del valor de la ciencia como fuerza cultural y, en consecuencia, ii) la necesidad de que esté más presente en la sociedad ante la evidencia de que constituye un saber importante que debe dejar de ser minoritario.

Una cultura científica holística, como la que hemos defendido en el capítulo anterior, debería incluir un conocimiento básico sobre los rasgos característicos de la ciencia; esto es, qué es la ciencia, cómo funciona y se desarrolla, cuáles son sus fundamentos epistemológicos y ontológicos, los métodos de trabajo de los científicos, los valores de estos como grupo social y las influencias mutuas entre la ciencia, la tecnología y la sociedad.

Una manera de favorecer la comprensión sobre dichos aspectos de la ciencia es mediante el estudio y análisis crítico de la historia de la ciencia. La demanda de integrar la historia de la ciencia en la educación formal, como primer contexto de inmersión de la población en la cultura científica, se remonta a la segunda mitad del siglo XIX. En 1855, George J. D. Campbell, octavo duque de Argyll, en su discurso presidencial de la reunión de la British Association for the Advancement of Science (Asociación Británica para el Avance de la Ciencia), celebrada en Glasgow, reclamó que: "Lo que queremos en la enseñanza de los jóvenes no es tanto

meros resultados sino métodos y, sobre todo, historia de la ciencia”.

No obstante, el uso de la historia de la ciencia como recurso para la culturización científica de las personas no se limita al ámbito de la educación científica formal. En ocasiones, los medios de comunicación recurren también a ella cuando divulgan ciertos temas de ciencia y tecnología.

Con el propósito de valorar el potencial didáctico de la prensa para entender algunos rasgos esenciales de la ciencia, García-Carmona (2014) analizó una muestra de cuarenta noticias relacionadas con la física que se publicaron durante el periodo 2006-2013 en los principales periódicos españoles. Encontró que diez de ellas hacían alusión a pasajes de la historia de la ciencia, y que su contenido resultaba de especial interés para comprender el carácter tentativo de la ciencia, el papel de la creatividad de los científicos, la objetividad en la construcción del conocimiento científico y las interacciones entre ciencia y sociedad, entre otros aspectos.

Sin embargo, es preciso advertir que, a diferencia de lo que ocurre en los libros y artículos de revistas especializadas en estas cuestiones, el contenido científico de las noticias científicas publicadas en la prensa puede estar sesgado por la interpretación que los periodistas hacen del mismo, o por falta de rigor en su exposición debido al intento de llegar a la mayoría de las personas, sea cual sea su nivel de cultura científica. Por tanto, conviene ser prudentes a la hora de considerar la prensa como recurso para el desarrollo de la cultura científica de la ciudadanía en general.

En coherencia con la concepción de cultura científica que estamos manejando, consideramos que la forma más adecuada de utilizar la historia de la ciencia para una culturización *en y sobre* la ciencia es mediante el estudio y análisis crítico de controversias científicas. Una controversia

científica es una disputa pública duradera sobre un asunto significativo de la ciencia sin una resolución fácil (McMullin, 1987), que implica la intervención de la comunidad científica con argumentos epistémicos (cognitivos o propios de la ciencia) y no epistémicos, tales como emociones, rasgos de personalidad, presiones institucionales, influencias políticas, rivalidades nacionales e, incluso, a veces fraude. McMullin (1987: 51) define una controversia científica como:

[...] una disputa [científica] pública que se mantiene persistentemente sobre un asunto considerado significativo por un número de científicos en ejercicio [...] que existe solo en el caso de que grupos sustanciales de la comunidad científica atribuyan el mérito a cada parte en un desacuerdo público [...] El énfasis puesto en el papel de la comunidad [científica] en la determinación de la controversia puede servir para añadir otro aspecto respecto a la naturaleza de la controversia científica. Una controversia es un suceso histórico; tiene un lugar y una fecha. No se trata de una mera relación abstracta entre evidencia e hipótesis.

Este mismo autor establece también cuatro tipos de controversias científicas:

- Controversias en torno a *hechos*, que se originan como consecuencia de los resultados obtenidos y su interpretación.
- Controversias relativas a *teorías*, que surgen de desacuerdos sobre aspectos teóricos.
- Controversias referidas a *principios*, que se deben a la confrontación de ciertos aspectos ontológicos y metodológicos subyacentes en toda actividad investigadora.
- Controversias *mixtas*, en las que confluyen diversos ámbitos sociales, tales como ciencia, aplicaciones tecnológicas, economía, política, moral y ética, etc.

No obstante, los participantes en una controversia científica no suelen ser únicamente los científicos, sino que intervienen a menudo otros grupos sociales: políticos, industriales y comerciantes, agentes sociales, *lobbies* o grupos de presión y la ciudadanía en general. En tal caso, los tres primeros tipos de controversias señalados por McMullin acabarían por estar incluidos en el cuarto de algún modo.

Desde la obra de Kuhn (1962), se reconoce que en la resolución de las controversias científicas, donde se decide qué conocimiento se acepta y cuál no, también intervienen de manera determinante factores sociales, personales y psicológicos. La sociología de la ciencia posterior a Kuhn ha ido más lejos aún al sostener que las controversias científicas no pueden explicarse adecuadamente sin recurrir a los factores sociales; es decir, que la construcción del conocimiento científico no está vinculada exclusivamente a aspectos racionales y cognitivos. En efecto, numerosos estudios al respecto han mostrado que la ciencia se construye socialmente como las demás actividades humanas; con lo cual, está sometida a las influencias de la sociedad y su cultura. Al mismo tiempo, la ciencia influye en la sociedad modificando la cultura que la caracteriza. Algo similar a todo ello se puede decir respecto a la tecnología; de ahí que se hable también de interacciones entre ciencia, tecnología y sociedad.

Las controversias científicas son esenciales en la construcción del conocimiento científico porque impulsan el avance de la ciencia y muestran el conflicto como algo natural a la propia ciencia. Ponen de manifiesto lo que salió bien y lo que salió mal. Así pues, el análisis crítico de las controversias científicas proporciona un marco de estudio idóneo sobre los complejos procesos del cambio científico. Su inclusión como categoría filosófica e histórica de análisis

permite, en consecuencia, reducir la brecha que existía entre los estudios de la fase de descubrimiento (los procesos seguidos por los científicos en sus investigaciones) y la fase de justificación de los conocimientos producidos (la ciencia publicada).

Las comunidades científicas intentan resolver las controversias apelando a factores epistémicos (por ejemplo, evidencias e inferencias) que, dentro de lo posible, no estén distorsionados por las creencias personales, ideológicas, políticas y religiosas de los participantes (factores no epistémicos). Sin embargo, historiadores, filósofos y sociólogos de la ciencia encuentran la presencia de tales aspectos no epistémicos en la formación del juicio de una comunidad científica. Como venimos diciendo, la ciencia es una actividad cultural, que responde a necesidades, intereses, problemas sociales, políticos, económicos e ideológicos; por consiguiente, en toda controversia científica influyen tanto factores epistémicos (cognitivos) como no epistémicos (contextuales, personales y psicológicos), que están relacionados con las dimensiones sociales interna y externa de la ciencia.

Los aspectos no epistémicos afloran sobre todo en la ciencia privada, el denominado contexto de descubrimiento según la terminología del filósofo positivista Reichenbach; esto es, durante el proceso de elaboración del conocimiento. En la década de 1930, este filósofo distinguió entre el contexto de descubrimiento (ciencia privada) y el contexto de justificación (ciencia pública). Si bien, para él, los filósofos de la ciencia no deberían ocuparse de la génesis de los descubrimientos científicos, que estaría afectada por factores espurios, sino solamente de los resultados finales de la investigación científica, expresados en artículos y libros (ciencia publicada); a saber: los hechos descubiertos, las teorías elaboradas, los métodos lógicos empleados y la

justificación empírica de las consecuencias y predicciones derivadas de las teorías. Con esta distinción, Reichenbach y el positivismo excluyeron los aspectos no epistémicos. No obstante, la filosofía de la ciencia contemporánea ha superado esa dicotomía y ambos contextos se consideran hoy un continuo integrado.

Para que la ciudadanía pueda apropiarse de una cultura científica más auténtica y holística, la divulgación de la ciencia debe tener en cuenta, pues, tanto los aspectos epistémicos como los no epistémicos. Esto implica la comprensión de los diversos tipos de valores de la ciencia, propios y contextuales, que son consecuencia del carácter humano de la actividad científica, incluyendo sus limitaciones e influencias de diversa índole.

La narración histórica de una controversia científica, con propósitos divulgativos para la cultura científica, necesita que las descripciones se hagan con detalle a fin de i) evitar una visión demasiado lineal sobre cómo la ciencia produce sus nuevos conocimientos y ii) permitir una mejor interpretación de la historia de la ciencia en su contexto. Pero, del mismo modo que cuando se utiliza en la educación científica, el texto que narra una controversia científica requiere de una adaptación si su propósito es la divulgación de la ciencia para todo tipo de público. Una estrategia, al respecto, es hacer una simplificación de la controversia científica en la que se seleccionan fragmentos y se resumen los hechos históricos que la caracterizan.

Aun así, en este proceso de simplificación hay que tener especial cuidado en que los fragmentos seleccionados —y, por tanto, las omisiones que se hagan— no conduzcan a una pseudohistoria que muestre una imagen deformada de la ciencia. También debe evitarse una visión idealizada o mítica de la ciencia y los científicos, como sucede en los relatos hagiográficos, así como enfatizar unos aspectos, minimizar

otros y omitir los errores y fracasos acaecidos durante la construcción del conocimiento científico. Es igualmente recomendable que los relatos incorporen palabras de los científicos para resaltar el lado humano de la ciencia y añadir autenticidad a las ideas sobre la ciencia que ilustran. Por último, no debe darse una interpretación anacrónica del pasado, que exagere la importancia de su contribución a la ciencia actual, en vez de tratar de entender la ciencia en el contexto social histórico de su época y los factores contingentes de su desarrollo. De lo contrario, con esta visión *whig* de la historia de la ciencia³ se estaría transmitiendo la idea falaz de que el progreso de la ciencia hasta nuestros días es acumulativo y lineal.

En resumen, la historia de la ciencia permite contextualizar la ciencia; por ejemplo, la manera en que los científicos se enfrentan a los retos de sus investigaciones, o la labor de la comunidad científica de la época en la construcción de las ideas científicas y su ajuste con la evidencia empírica. Promueve el abordaje de cuestiones epistemológicas, ontológicas y sociológicas vinculadas a la construcción de la ciencia, ubicando su contenido en un contexto humano, social y cultural de carácter holístico. Además, ello favorece no solo la comprensión de la influencia de los factores epistémicos, sino también de los no epistémicos en el pensamiento y en

3. El historiador británico Herbert Butterfield fue quien estableció la idea de historia *whig* como la interpretación del pasado mediante una sucesión de eventos que necesaria e inevitablemente han conducido al presente; dicho con otras palabras, la explicación de los hechos del pasado como si tuvieran su causa en el futuro. Tal interpretación, argumentó Butterfield (2012), tiene al menos dos problemas graves: i) lleva al historiador a estudiar el pasado desde la óptica de hoy, lo cual implica una historia que incluye solo aquellos acontecimientos que el historiador considera relevantes para explicar el presente; es decir, una historia anacrónica; y ii) al realizar el estudio histórico tomando como referente sus propios valores, el historiador "whigista" resuelve ingenua o intencionadamente quiénes son los héroes y los villanos de la historia, lo que impide que se pueda comprender realmente por qué las personas del pasado actuaron de la manera en que lo hicieron.

las investigaciones de los científicos. Como sucede en las grandes obras literarias, el desarrollo de la ciencia es un producto cultural y, al igual que en aquellas, la importancia de sus logros y la comprensión de su naturaleza se ven reforzadas por el conocimiento de su contexto histórico.

En los capítulos que siguen, se desarrollan cuatro narraciones de controversias científicas históricas y otra de la historia de la tecnología. La primera es sobre Semmelweis y sus investigaciones acerca de la fiebre puerperal, la cual originaba, a mediados del siglo XIX, que las mujeres que parían en los hospitales corrieran un gran riesgo de muerte.

La segunda controversia se ocupa de una de las polémicas científicas en las que se vio envuelto Pasteur; en este caso, su enfrentamiento con Pouchet sobre la generación espontánea. En la misma, además de los científicos, intervinieron con pasión filósofos, teólogos, políticos, periodistas y la ciudadanía en general.

La tercera versa sobre la controversia entre Pasteur y Liebig sobre la causa del fenómeno de la fermentación, en la que se enfrentaron la interpretación biológica con la química; pero en la que tuvieron una influencia notable, entre otros factores, las repercusiones sociales, industriales y económicas relativas a la mejora de las técnicas de fermentación en las industrias del vino, la cerveza y el vinagre, así como la invención de la pasteurización para conservar y transportar alimentos como la leche.

La cuarta controversia trata sobre Rosalind Franklin y la doble hélice del ADN. En ella se ponen de manifiesto, por una parte, los propósitos distintos de cristalógrafos y genetistas respecto a la elucidación de la estructura del ADN, así como las diferentes metodologías científicas puestas en juego. Por otra, salen a la luz otras cuestiones de la práctica científica real, tales como el valor de la colaboración en la

investigación científica, los aspectos éticos y las posibles dificultades que tuvo Franklin por el hecho de ser mujer en la ciencia de esa época.

La última de las narraciones es de historia de la tecnología: la polémica entre Tesla y Edison sobre el uso industrial de la corriente alterna versus la corriente continua; una controversia que no es solo de personajes, sino también de empresas tecnológicas. Su inclusión en este libro no es casual. Ello responde, por un lado, a que la importancia de la tecnología en las sociedades actuales es creciente, como es bien sabido. Por otro, a que la tecnología no es simplemente ciencia aplicada —o la aplicación de la ciencia—, como se ha transmitido explícita e intencionadamente demasiadas veces. La tecnología tiene valores constitutivos y contextuales específicos, así como sus modos de desarrollo propios.

Ingenieros y demás tecnólogos constituyen sus propias comunidades. Del mismo modo que sucede con las comunidades de científicos, las comunidades de tecnólogos tienen sus propios ámbitos de problemas, teorías, métodos, procedimientos y técnicas. Tales profesionales emplean elementos que se derivan del conocimiento científico, adaptados a su peculiar forma de hacer, junto a otros conocimientos tácitos de carácter técnico, tradiciones basadas en la experiencia acumulada, así como prácticas empresariales relacionadas con la comercialización y el uso de sus productos y servicios.

El conocimiento tecnológico es, pues, interdisciplinar y pragmático, con rasgos que lo hacen diferente, de manera formal y sustancial, del originado por la ciencia. La tecnología se nutre tanto de su propia experiencia como de otras áreas, constituyendo un saber en el que conviven conocimientos proposicionales procedentes de campos diversos, incluida la ciencia, con otros operacionales relativos al saber hacer (*know-how*). Asimismo, el diseño, desarrollo y

evaluación de una tecnología se ajustan a una lógica diferente a la que se emplea en la investigación científica.

Para concluir este capítulo, resaltaremos que hemos procurado que no haya héroes ni villanos en nuestras narraciones históricas. Aunque el lector pueda tener más simpatía por unos personajes que por otros, estos se muestran —o al menos eso hemos pretendido— con sus virtudes y sus defectos, con sus éxitos y sus fracasos. Dicho esto, les invitamos a que pasen la página, lean con atención los relatos y reflexionen sobre ellos. Esperamos que disfruten con ellos tanto como nosotros al escribirlos.

Ignaz Philipp Semmelweis nació en 1818 en Taban, parte de Buda (Hungría)⁴. En 1837, ingresó en la Universidad de Viena para estudiar medicina. Concluyó sus estudios en 1844 y, en 1846, entró a trabajar en el Hospital General de Viena (inaugurado en 1784) como asistente del doctor Johann Klein⁵, director del primer pabellón de obstetricia desde hacía más de veinte años. El hospital era público y se había fundado, sobre todo, para entrenar a los médicos en obstetricia, pues tenía el centro más grande de Europa en esta especialidad. Debido al gran número de partos, muchos estudiantes de medicina y alumnas de partería acudían al hospital para hacer prácticas clínicas. Estos servicios estaban

4. Después de las modificaciones jurídicas, políticas y territoriales introducidas por el Congreso de Viena (1814-1815), Austria se anexionó Hungría, parte de Italia y Polonia, además de presidir la Confederación Germánica, configurándose así el Imperio austro-húngaro bajo la dinastía de la casa real Habsburgo. Las relaciones entre Viena y las diversas nacionalidades del Imperio siempre fueron tensas.

5. Previamente había concursado sin éxito a una plaza como asistente de patología con el doctor Jacob Kolletschka y a otra de asistente del doctor Joseph Skoda.

destinados especialmente a mujeres que no podían pagar la asistencia privada de un médico o una comadrona. La mayoría de ellas eran extranjeras, inmigrantes y madres que daban a luz fuera del matrimonio.

Durante el periodo del director anterior (1789-1822), el doctor Johann Lucas Boër, la tasa de mortalidad materna del departamento de obstetricia había sido de 1,25 por ciento en unas 71.000 pacientes. Boër impartía sus lecciones de anatomía con maniquíes para enseñar la anatomía femenina y desaconsejaba el uso del fórceps. Cuando Klein tomó posesión de su puesto, decidió que la enseñanza se hiciera con cadáveres, una práctica que ya se usaba en otras universidades y hospitales de Europa. Klein reorganizó el hospital en dos pabellones: uno para médicos, el primer pabellón, y otro para comadronas, el segundo pabellón. Desde entonces, la mortalidad por fiebre puerperal aumentó en el primer pabellón frente a la del segundo pabellón.

Las siguientes líneas del diario de Semmelweis ilustran los efectos devastadores de la fiebre puerperal:

Julio de 1846. La próxima semana tomaré el puesto de "Herr Doktor" en la clínica de maternidad del Hospital General de Viena. Me asusté cuando escuché el porcentaje de pacientes fallecidas. Este mes, no menos de 36 de las 208 madres murieron de fiebre puerperal. Dar a luz a un niño es tan peligroso como una pulmonía de primer grado.

Una opinión ampliamente aceptada atribuía la fiebre puerperal a epidemias que se describían vagamente como cambios atmosféricos, cósmicos o telúricos. Esta opinión era coherente con la teoría miasmática de las enfermedades, una de las que dominaban en la época⁶. Según la medicina

6. Según la etiología oficial de la época, la infección era debida a la transferencia de miasmas, que contenían partículas envenenadas, de la exhalación pútrida de una persona enferma a otra sana. Por ello, se recomendaba la ventilación de los

hipocrática, vigente en muchos aspectos en el pensamiento del siglo XIX, las causas de las enfermedades estaban en los cambios climáticos y estacionales, en el aire, así como en los alimentos y los traumas físicos. Los miasmas eran considerados efluvios nocivos, sustancias venenosas para el cuerpo humano, que se producían por la putrefacción de la materia orgánica, como aguas fecales o cadáveres. En el caso de la fiebre puerperal, los miasmas se podían producir, además, por la descomposición química de la sangre o de fluidos corporales, provocada por diferentes causas como la presión que ejerce en el organismo el útero dilatado, o las lesiones debidas a exploraciones vaginales. Los miasmas podían transmitirse por el aire, y no se consideraba que hubiera una relación específica entre miasma y enfermedad. Por ello, algunas de las medidas preventivas que se proponían eran: ventilar las salas de los hospitales, evitar el hacinamiento y mejorar la alimentación. Otra teoría de esa época para explicar las enfermedades era la del contagio⁷. A principios del siglo XIX, la teoría del contagio consideraba la existencia de ciertos agentes específicos causantes de las enfermedades que se transmitirían de forma directa o por medio de objetos. Una medida que fue propuesta para evitar los contagios era el aislamiento de los enfermos⁸.

¿Cómo —se preguntaba Semmelweis— podía verse infestado durante años el primer pabellón del hospital y no

hospitales y otros espacios cerrados para prevenir epidemias infecciosas mediante la transmisión aérea.

7. En 1795, Alexander Gordon, médico obstetra de Aberdeen (Escocia), publicó *A Treatise on the Epidemic Puerperal Fever of Aberdeen*, una obra compatible con la teoría del contagio, la cual tuvo numerosos adeptos en las islas británicas, pero no en la Europa continental. El contagio provoca solo la misma enfermedad, pero la fiebre puerperal podía ser transmitida por otras enfermedades como el carcinoma del útero.
8. Desde un punto de vista kuhniano, podría pensarse en una situación preparadigmática con dos teorías dominantes. Sin embargo, las dos teorías señaladas no competían en la práctica médica de la época, sino que convivían en armonía, usando la mayoría de los médicos unas veces la primera, otras la segunda y, en ocasiones, una combinación de ambas para explicar las enfermedades.

el segundo pabellón? Y ¿cómo compatibilizar esto con el hecho de que mientras la fiebre asolaba el hospital, apenas se producían casos en la ciudad de Viena o sus alrededores? Una epidemia verdadera, como el cólera, no podía ser tan selectiva. Asimismo, Semmelweis comprobó que las mujeres que daban a luz en la calle, mientras iban de camino al hospital, tenían un porcentaje de muertes por fiebre puerperal más bajo que las ingresadas en el primer pabellón del hospital, a pesar de las condiciones adversas.

Semmelweis escribió en su diario:

Diciembre 1846. ¿Por qué tantas mujeres mueren de esta fiebre después de haber dado a luz sin problemas? Durante siglos, la ciencia nos ha enseñado que es una epidemia invisible que mata a las madres. Las causas pueden deberse a cambios atmosféricos, alguna influencia cósmica o terremotos.

Semmelweis creía que era poco probable que la fiebre pudiera deberse a estas causas. Recopiló datos estadísticos⁹ del número de muertes por fiebre puerperal tanto del primer pabellón, dirigido por Klein, como del segundo pabellón, dirigido Bartch, y razonó que:

Es poco probable que cambios atmosféricos, cósmicos o telúricos causen la fiebre porque la proporción de muertes es muy diferente en los dos pabellones. Puesto que el número de muertes no es tan grande en el segundo pabellón, tal vez la causa tiene que ver con algo que pasa en el primer pabellón.

9. Semmelweis había estudiado métodos estadísticos y de diagnóstico impartidos por el profesor Skoda, médico de la familia imperial, que se había formado con el doctor Pierre Charles-Alexandre Louis, el cual había fomentado la utilización de métodos cuantitativos en medicina mediante la estadística.

Semmelweis examinó otras explicaciones del fenómeno que eran corrientes en la época, eliminó algunas incompatibles con hechos bien establecidos y contrastó otras. Rechazó que la causa de la mortandad fuera la dieta o la atención general a las pacientes porque ambas eran similares en los dos pabellones. Del mismo modo, excluyó el hacinamiento que incluso era mayor en el segundo pabellón, en parte porque las mujeres intentaban evitar que las ingresaran en el temido primer pabellón.

Una explicación psicológica hacía notar que el sacerdote, que portaba los últimos auxilios a una moribunda, tenía que pasar por cinco salas del primer pabellón antes de llegar a la enfermería. Se opinaba que la aparición del sacerdote, precedido por un acólito que hacía sonar una campanilla, producía un efecto terrorífico y debilitante en las pacientes de las salas, que las hacía más propicias a contraer la fiebre puerperal. Esto no ocurría en el segundo pabellón porque el sacerdote tenía acceso directo a la enfermería. Semmelweis le convenció para que diera un rodeo en el primer pabellón y suprimiera el toque de la campanilla para no anunciar su llegada. Pero la mortalidad no decreció.

Semmelweis observó también que la mayoría de las pacientes hospitalizadas contraía la fiebre puerperal incluso antes del parto y que el punto de infección siempre era el útero. Observó que los estudiantes que acudían al primer pabellón venían de las prácticas anatómicas con cadáveres sin limpiarse las manos, o haciéndolo solo superficialmente, antes de examinar a las mujeres. Entonces formuló la hipótesis de que los estudiantes transportaban materia putrefacta desde los cadáveres hasta las parturientas, siendo ese el origen de la fiebre puerperal.

Esta hipótesis explicaría que la mortalidad en el segundo pabellón fuera mucho más baja, porque la preparación de

las comadronas no incluía prácticas forenses. También podría explicar que la mortalidad fuera menor en partos callejeros, ya que las mujeres, que llegaban con el niño en brazos, casi nunca eran sometidas a un reconocimiento después de su ingreso; por lo que tenían mayores posibilidades de escapar a la infección.

Klein no estaba de acuerdo con la hipótesis de Semmelweis, ni con sus propuestas. Sus explicaciones se basaban en la brusquedad de los estudiantes en los exámenes vaginales, debido a que la mayoría eran extranjeros¹⁰. Tras varias discusiones violentas, Klein lo destituyó como ayudante suyo en octubre de 1846¹¹.

Después de dos meses en Venecia para reponerse, cuando regresó a Viena en 1847, Semmelweis conoció la noticia de la muerte de Kolletschka, su profesor de anatomía patológica, tras cortarse accidentalmente con un escalpelo durante una autopsia y manifestar síntomas similares a los de la fiebre puerperal. Escribió al respecto:

Este acontecimiento me sensibilizó extraordinariamente y, cuando conocí todos los detalles de la enfermedad que le había matado, la identidad de este mal con la infección puerperal, de la que morían las parturientas, se impuso tan bruscamente en mi espíritu, con una claridad tan deslumbradora, que desde entonces dejé de buscar por otros sitios [...] Su sepsia y la fiebre puerperal deben tener el mismo origen [...] los dedos y manos de los estudiantes y doctores, sucios

10. En esa época, las revoluciones burguesas fueron frecuentes en Europa y aparecieron fuertes tendencias separatistas en el Imperio austro-húngaro. Muchos húngaros querían independizarse del poder de Viena, *circa* 1848, y Semmelweis fue acusado por Klein de apoyar la separación de Hungría. En efecto, Semmelweis tomó partido por la corriente separatista húngara, que a la postre sería la derrotada.

11. Klein, protegido por la corte austríaca y el Ministerio de Salud, no admitía que se impusieran las ideas de su subordinado, al que además consideraba ciudadano de segunda clase por ser húngaro. Tampoco ayudó el carácter intempestivo de Semmelweis y la falta de respeto a su superior.

por las disecciones recientes, portan venenos mortales de los cadáveres a los órganos genitales de las parturientas¹².

Poco después, Skoda influyó para que Bartch, director del segundo pabellón, lo admitiera como asistente suplente. Semmelweis puso a prueba su hipótesis. Por petición suya, los estudiantes del primer pabellón entraron en el segundo pabellón intercambiándose con las comadronas y, en un mes, se triplicó la mortalidad por fiebre puerperal. Si la hipótesis era correcta, la fiebre puerperal se podría prevenir destruyendo químicamente la materia infecciosa invisible adherida a las manos. Dictó una orden por la que se exigía a todos los estudiantes de medicina que se lavaran las manos con una solución de cloruro de calcio, antes de reconocer a ninguna parturienta y después de cada exploración vaginal¹³. La tasa de la enfermedad disminuyó drásticamente del 18 por ciento a menos del 3 por ciento en tan solo unos meses, y en el año 1848 descendió hasta el 1,27 por ciento en el primer pabellón, frente al 1,33 por ciento del segundo pabellón¹⁴.

Ese mismo año, Semmelweis escribió:

En los primeros cuatro meses del año, hubo de treinta a cuarenta muertes mensuales. A finales de mayo se introdujo la práctica del lavado de manos y, desde ese momento, los casos de enfermedad, que

12. Esta capacidad para establecer nuevas relaciones entre las enfermedades —la que causó la muerte del profesor de anatomía patológica Kolletschka y la fiebre puerperal— es una muestra clara de la creatividad de Semmelweis.

13. Aunque la intención era buena, sus formas no lo eran, lo que le originaría muchos problemas. Semmelweis impuso la norma del lavado de manos de manera autoritaria, sin mediar una campaña educativa previa y sin sensibilizar a los colegas y subalternos que tenían que implementarla. Tampoco tuvo en cuenta los efectos secundarios del cloro (irritación y resequead de manos) y del tiempo que suponía este lavado a fondo hasta que desapareciera el olor a cadáver de las manos de los médicos.

14. Sin embargo, Klein atribuyó estos resultados a un nuevo sistema de ventilación que había instalado, de acuerdo con las recomendaciones derivadas de las teorías médicas ortodoxas de la época.

antes se producían a diario, dejaron de ocurrir. En junio murieron tres mujeres, en julio otras tres, y hasta mediados de agosto otras dos. En ese momento fue admitido un nuevo grupo de estudiantes, algunos desatendieron el lavado de manos y, para finales de agosto, habían muerto doce pacientes. Después de un control más estricto, la morbilidad cesó, así que para finales de septiembre tan solo habían ocurrido tres muertes [...] en ausencia de más evidencia que pudiera explicar la importante disminución de la fiebre puerperal en este hospital, las normas preventivas arriba mencionadas, concernientes al examen, merecen atención y podrían fomentar experimentos similares en otros hospitales de maternidad.

Posteriores experiencias clínicas llevaron a Semmelweis a ampliar su hipótesis. En una ocasión, después de desinfectarse cuidadosamente las manos, él y sus colaboradores examinaron primero a una parturienta aquejada de cáncer cervical ulcerado. Procedieron luego a examinar a otras doce mujeres de la misma sala, después de un lavado rutinario, sin desinfectarse de nuevo. Once de las doce pacientes murieron de fiebre puerperal. Semmelweis concluyó que la fiebre puerperal podía ser producida no solo por materia cadavérica, sino también por materia pútrida procedente de organismos vivos.

En 1848, una comisión designada para investigar el asunto atribuyó la frecuencia de la enfermedad en el primer pabellón a las lesiones que los estudiantes de medicina producían en las parturientas, debido a reconocimientos médicos poco cuidadosos. Semmelweis intentó refutar esto señalando que: i) las lesiones producidas en un parto son mucho mayores que las que pudiera producir cualquier examen médico descuidado; ii) las comadronas en prácticas del segundo pabellón hacían los reconocimientos de modo parecido, sin producir los mismos efectos por ello; y iii) cuando se redujo el número de estudiantes y se les restringió

el reconocimiento de parturientas, la mortalidad, después de un breve descenso, alcanzó sus cotas más altas.

No obstante, Semmelweis desconocía otras evidencias empíricas adicionales distintas a las suyas, ni tenía acceso a publicaciones sobre el tema para oponerse a sus detractores¹⁵. Además, no hizo experimentos controlados y fiables en el laboratorio, salvo unos pocos mal planificados, para comprobar lo que había constatado en su práctica clínica. También se negó empeñadamente a usar el microscopio en sus investigaciones, un instrumento disponible en el Hospital General de Viena. De este modo, perdió una gran oportunidad de complementar su hipótesis con una caracterización más precisa, basada en pruebas empíricas, del principio activo presente en la materia cadavérica. Asimismo, no se esforzó en comunicar personalmente sus hallazgos en revistas especializadas ni en reuniones académicas o congresos¹⁶.

La mayoría de los obstetras europeos rechazaron o ignoraron su descubrimiento¹⁷. Decían que su trabajo no proporcionaba evidencias suficientes y carecía de rigor¹⁸, que sus resultados no eran reproducibles e, incluso, que había

15. Semmelweis no fue el primero en hacer una conexión entre una enfermedad iatrogénica (inducida por el médico) y el parto. En 1842, Thomas Watson, obstetra y profesor de Medicina en Londres, recomendaba lavarse las manos con una solución de cloro, así como que ginecólogos y comadronas se cambiaran de ropa para evitar convertirse en vehículo de contagio. En la misma línea, Oliver Wendell Holmes, patólogo de Boston y profesor de Medicina en la Universidad de Harvard, publicó en 1843 *The Contagiousness of puerperal fever*. Ambos se ganaron la hostilidad de colegas y comadronas, que negaban la posibilidad de que ellos pudieran transmitir la enfermedad a sus pacientes.

16. A ello contribuyó que tenía dificultades para expresarse porque no hablaba con fluidez en alemán y su acento era extraño.

17. En Praga, el doctor Beyfetz comunicó que había puesto en práctica durante cinco meses los métodos de Semmelweis y declaró que los resultados obtenidos no concordaban con los señalados.

18. Aunque parecían ser adecuadas en la práctica clínica cotidiana para solventar la fiebre puerperal, las ideas de Semmelweis eran un asalto a la ortodoxia establecida respecto a las teorías médicas dominantes, así como a la clasificación de las enfermedades de la época. Semmelweis no propuso nunca una teoría alternativa a las existentes que pudiera comprobarse mediante una investigación científica bien planificada y rigurosa.

falseado las estadísticas. Prevalció, pues, la opinión de Klein y, en marzo de 1849, no se le renovó su contrato en el Hospital General de Viena.

Desmoralizado, abandonó Viena en 1850 sin despedirse siquiera de los escasos pero buenos amigos que tenía entre sus colegas. Ejerció un tiempo como médico privado en Hungría y, posteriormente, obtuvo plaza en la maternidad del Hospital Clínico de la Universidad de Pest gracias, una vez más, a la recomendación de Skoda. Allí implantó sus métodos y, desde entonces, la mortalidad por fiebre puerperal se redujo drásticamente en ese hospital.

Semmelweis se decidió por fin a escribir sus ideas en 1860. Su obra se publicó el año siguiente con el título *De la etiología, el concepto y la profilaxis de la fiebre puerperal*, un voluminoso texto árido, reiterativo, confuso a veces y de lectura difícil¹⁹.

El libro no fue bien recibido y la hostilidad hacia sus ideas y técnicas no disminuyó²⁰, lo que le hizo escribir violentas cartas abiertas a todos los profesores de obstetricia durante 1861 y 1862:

¡Asesinos! llamo yo a todos los que se oponen a las normas que he prescrito para evitar la fiebre puerperal. Contra ellos, me levanto como resuelto adversario, tal como debe uno alzarse contra los partidarios de un crimen. Para mí, no hay otra forma de tratarles más que como asesinos. ¡Y todos los que tengan el corazón en su sitio pensarán como yo! No es necesario cerrar las salas de maternidad para que cesen los desastres que deploramos, sino que conviene echar a los obstetras, ya que son ellos los que se comportan como auténticas epidemias [...]

19. El propio Semmelweis declaró en el prefacio de su libro que tenía una aversión innata a cualquier forma de escritura. Semmelweis descuidó por completo este aspecto.

20. El *mobbing* que se produce cuando el descubrimiento de un hecho científico es castigado más que recompensado se denomina *the Semmelweis reflex* en el mundo anglosajón.

Con esto, aumentó la animadversión de la comunidad médica²¹, más aún cuando se dedicó a pegar pasquines en las paredes de su ciudad advirtiendo a las mujeres embarazadas del riesgo que corrían si iban a parir a los hospitales y recomendarles que lo hicieran en su domicilio. Abatido, cayó en una profunda depresión con rasgos de locura. Finalmente, murió trágicamente el 16 de agosto de 1865.

La muerte de Semmelweis no está clara. Hay tres versiones distintas. Una dice que murió 14 días después de su ingreso en un manicomio, tras haber sido brutalmente golpeado por el personal para someterlo. Otra afirma que ya estaba infectado por un corte con un bisturí cuando lo internaron en el psiquiátrico y que murió con los mismos síntomas de la enfermedad que había descubierto cómo evitar. La tercera es una variante de la anterior, que apunta al suicidio cortándose con un escalpelo contaminado en un aula delante de sus alumnos en un arrebato de locura.

Poco después, Louis Pasteur expondría su teoría germinal sobre las enfermedades infecciosas mediante microbios²², según la cual las enfermedades infecciosas tienen su causa en un ente vivo microscópico con capacidad para propagarse entre las personas. Fue a partir de entonces cuando la práctica clínica de Semmelweis cobró sentido dentro de ese marco teórico²³, y Joseph Lister la extendería, *circa* 1865, a la práctica quirúrgica higiénica del resto de especialidades médicas²⁴. En 1879,

21. La personalidad intempestiva y conflictiva de Semmelweis le llevó a comportarse con torpeza en las relaciones con la mayoría de sus colegas. Manejó muy mal los aspectos intrapersonales: actitudes, creencias y expectativas de la comunidad médica.

22. Pasteur recomendó el uso de ácido bórico como desinfectante antes y después del parto para prevenir la fiebre puerperal. Asimismo, en 1871 sugirió a los médicos de los hospitales militares hervir el instrumental y los vendajes. También diseñó un horno, el "horno Pasteur", para esterilizar el instrumental quirúrgico.

23. Según Skoda, Semmelweis no ambicionaba formular una teoría que explicara todas las causas de la fiebre puerperal, sino encontrar y superar las causas de la excesiva mortalidad por fiebre puerperal en el primer pabellón del Hospital de Viena.

24. Entre las propuestas de Lister estaban: el lavado de manos de médicos y sanitarios, la utilización de guantes, la esterilización del instrumental quirúrgico antes de ser usado, la limpieza de las heridas con disoluciones de ácido carbólico como antiséptico, etc.

Pasteur demostró que las bacterias estreptocócicas se podían encontrar en la sangre de las mujeres que tenían fiebre puerperal. Semmelweis es considerado en la actualidad como un pionero y Lister como el padre de la asepsia moderna.

CUADRO 1

¿QUÉ PUEDE APORTAR ESTE TEXTO A UNA PERSONA INTERESADA EN LA CULTURA CIENTÍFICA?

1. Diferenciar entre observación e inferencia en una investigación científica.
2. Conocer algunas características de la metodología de una investigación científica, como la seguida por Semmelweis.
3. Identificar la originalidad y creatividad como elementos esenciales en el desarrollo de una investigación científica.
4. Entender que las hipótesis solo pueden convertirse en teorías si hay suficientes pruebas que las apoyen, así como que una teoría debe tener capacidad explicativa y predictiva.
5. Asimilar que los avances científicos no son inmediatos; y que, además, vienen precedidos de escepticismo y discusiones en la comunidad científica cuando no se apoyan en las teorías vigentes o las contradicen.
6. Reconocer la importancia de hacer experimentos rigurosamente controlados en una investigación científica.
7. Comprender que la ciencia se apoya en la tecnología disponible en cada época para su avance, como sucedió con el microscopio en este caso.
8. Valorar la buena comunicación científica como aspecto clave en el desarrollo de la ciencia: artículos en revistas profesionales, comunicaciones en congresos, etc.
9. Entender el papel o influencia que tiene la personalidad de un científico, para bien o para mal, en el desarrollo de sus investigaciones.
10. Reconocer la influencia de los factores sociales y políticos de la época en la que se desarrolla una investigación.
11. Entender que en el desarrollo de una investigación no solo influyen los aspectos puramente científicos —epistémicos—, sino también otros contextuales relacionados con la comunidad científica a la que se pertenece y con la sociedad en general.

LA CONTROVERSIA ENTRE PASTEUR Y POUCHET SOBRE LA GENERACIÓN ESPONTÁNEA

Durante siglos se ha creído que, en circunstancias favorables, podían surgir seres vivos de mayor o menor tamaño en un recinto cerrado sin la intervención de progenitores semejantes a ellos; por ejemplo, Aristóteles en la antigua Grecia, entre otros muchos. Esta teoría se conoce como generación espontánea. A partir del siglo XVII, se informaba periódicamente de experimentos favorables y contrarios a la generación espontánea; por ejemplo, Jean Babtiste van Helmont (1577-1644) a favor y Francesco Redi (1626-1697) en contra. La creencia en la generación espontánea se revitalizó posteriormente con el empleo del microscopio, atribuyéndose a seres microscópicos nuevos, que podían verse proliferar en pocas horas con ese instrumento. Las polémicas continuaron entonces acerca del origen de estos microorganismos en caldos de cultivo, por ejemplo, John Needham (1713-1781) a favor de la generación espontánea y Lazzaro Spallanzani (1729-1799) en contra. La generación espontánea también fue apoyada por naturalistas ilustres del siglo XVIII, como George Louis Leclerc, conde de Buffon

(1707-1788), que sugirió en 1778 dos formas de generación espontánea en la historia de la Tierra, una para producir las criaturas que vivieron en las condiciones iniciales calientes del planeta y otra para dar lugar a los antepasados de las formas modernas. A principios del siglo XIX Jean Baptiste Lamarck (1744-1829) defendió la generación espontánea de organismos primitivos, a partir de los cuales supuso que comenzaron las distintas líneas evolutivas (teoría transformista). Se produjo, al respecto, una larga polémica entre Isidore Geoffroy Saint-Hilaire (1805-1861), favorable a la generación espontánea asociada al transformismo, y George Cuvier (1769-1832), contrario a esta. En dicha controversia, Cuvier mezcló sus argumentos científicos contra Geoffroy con otros religiosos, filosóficos y políticos para conseguir su propósito. Por ejemplo, asoció a sus oponentes con la *Naturphilosophie* germana (Prusia era enemiga de Francia), pese a que Geoffroy negase numerosas veces esta asociación, y también los relacionó con el materialismo de los filósofos e ideólogos franceses de finales del siglo XVIII, a quienes se hacía responsables del régimen de terror durante la Revolución francesa.

A mediados del siglo XIX se sabía que las infusiones orgánicas susceptibles de putrefacción, en las que se había eliminado cualquier posibilidad de vida por una exposición prolongada a altas temperaturas, permanecían inalteradas a menudo y, por lo general, no se desarrollaba vida microscópica en ellas mientras estuvieran protegidas del contacto del aire. La entrada de aire hacía que los líquidos fermentaran o se pudrieran, apareciendo a los pocos días una gran variedad de microorganismos. ¿Se debía esto a que el aire era un factor esencial para la generación de vida, o a que era el medio a través del cual se introducían los gérmenes vivos? Los partidarios de la generación espontánea consideraban que el aire era necesario para la generación espontánea. Sus adversarios

creían, en cambio, que el aire tan solo era el vector que introducía los gérmenes vivos de la putrefacción y la fermentación en los líquidos orgánicos.

Félix Archimède Pouchet (1800-1872) estaba convencido de que sus experimentos evidenciaban que la generación espontánea existía; de lo contrario, ¿cómo era posible que, tomando las debidas precauciones para evitar la entrada de cualquier germen en los frascos, siempre aparecieran seres vivos en las infusiones de heno al cabo de unos días?

Hacia 1858, el estudio de los gérmenes y su papel en las fermentaciones llevó a Louis Pasteur (1822-1895) a interesarse por este asunto y entrar en el debate sobre la generación espontánea, una polémica en la que intervenían científicos, filósofos y teólogos. Biot y Dumas trataron de disuadirlo, pero Pasteur consideraba esta cuestión de gran importancia porque creía que le serviría para complementar sus estudios sobre las fermentaciones (véase el capítulo próximo de este libro).

Cuando comenzó el debate entre ambos sobre la generación espontánea, Pasteur, químico y académico en París, tenía 37 años. Pouchet tenía casi 60 años; era médico y naturalista con gran experiencia en biología animal tradicional, director del Museo de Historia Natural de Rouen, académico y miembro honorario de varias sociedades científicas fuera de Francia. La controversia se extendió durante el periodo que va de 1859 a 1864.

INICIO DE LA CONTROVERSIAS

El 20 de diciembre de 1858, Pouchet envió una detallada comunicación a la Academia de Ciencias de Francia (Academia en adelante) anunciando la generación espontánea de microorganismos, bajo condiciones cuidadosamente

controladas, en infusiones sometidas a altas temperaturas, que estaban en contacto con oxígeno producido químicamente para evitar la introducción de microorganismos que pudieran estar en el aire atmosférico.

Pese a la sorpresa inicial de los académicos, muchos protestaron con vehemencia, entre ellos el influyente Claude Bernard. Rechazaron el descubrimiento sin siquiera repetir el experimento, suponiendo que los microorganismos se habían introducido accidentalmente en los medios de cultivo, o que el calor del horno aplicado a la infusión no había sido suficiente para matar los que hubiera.

El experimento de Pouchet consistía en tomar una botella con agua hirviendo, cerrada herméticamente, y sumergirla invertida en una vasija de mercurio. Cuando el agua se había enfriado, abría la botella bajo el mercurio e introducía medio litro de oxígeno y una pequeña cantidad de infusión de heno, calentada previamente a temperatura elevada en un horno durante bastante tiempo. Suponía que estas precauciones eran suficientes para impedir la presencia de microorganismos en la botella, pero estos siempre aparecían en la infusión de heno a los pocos días. El que los cultivos se contaminasen era una prueba experimental de la generación espontánea para Pouchet.

El debate entre Pasteur y Pouchet comenzó con mucha cortesía en el ámbito privado, como lo acredita la carta que Pasteur envió a Pouchet en febrero de 1859 (véanse extractos de esta en Farley y Geison, 1994: 240-241, y en Latour, 1991b: 485), a diferencia de la mala recepción que había tenido la comunicación de Pouchet entre los miembros de la Academia. El experimento parecía correcto y Pasteur lo aceptó en principio. Poco después, pensó que el mercurio empleado en el momento de la entrada del aire en las botellas calentadas siempre contenía polvo y un gran número de microorganismos en su superficie. Pasteur eliminó la fuente

de contaminación de los líquidos y del aire utilizando matraces con forma de balón y cuello de cisne.

El uso de estos matraces especiales le fue sugerido a Pasteur por Balard, que había sido profesor suyo. Debido a las curvaturas del cuello y a que sus paredes estaban húmedas, las partículas de polvo quedaban atrapadas y no llegaban desde el exterior hasta el líquido aunque el aire circulase libremente. De este modo, la infusión podía permanecer sin microorganismos por un tiempo indefinido, como lo confirma el que algunos de estos matraces aún se conserven inalterados en el Instituto Pasteur de París.

Pasteur también diseñó un experimento para mostrar indirectamente la existencia de microorganismos en el aire y filtrarlos. Además, las observaciones de las muestras del aire filtrado en diferentes lugares le permitieron descubrir que existían grandes diferencias entre la cantidad y el tipo de microorganismos que aparecían, dependiendo del grado de contaminación de las muestras. Asimismo, preparó diversos experimentos para averiguar cuál era la menor cantidad de aire necesaria para contaminar los cultivos, lo que le sirvió de ayuda en el desarrollo de su teoría germinal.

Pasteur conjeturó que el aire puro sin calentar sería incapaz de producir la alteración de los líquidos orgánicos si carece de los gérmenes vivos de la fermentación, y que la cantidad de microorganismos que se encuentran en el aire variaría con la altitud. Hizo experimentos en el campo a poca altitud, en una de las montañas del macizo del Jura (a 850 m de altura) y en el glaciar La Mer de Glace (Montenvers, en los Alpes franceses, a 2.000 m de altura). Encontró que los gérmenes aéreos son más abundantes en los lugares bajos, sobre todo cerca de las tierras cultivadas, y que hay menos cuando el aire permanece tranquilo durante largos periodos de tiempo, como en los sótanos y en las montañas, lejos de tierras habitadas o cultivadas. De los veinte matraces que

abrió en el campo se alteraron ocho, cinco de los veinte abiertos en el Jura y uno solo de los otros veinte desprecintados en La Mer de Glace. Pasteur hizo estos experimentos indirectos porque no era posible observar directamente si había o no microorganismos en el aire que entraba en los matraces.

EL PREMIO ALHUMPERT

Siguiendo una tradición habitual para fomentar la investigación, la Academia instituyó el 30 de enero de 1860 el premio Alhumpert, bajo el lema "Para arrojar, mediante experimentos cuidadosamente dirigidos, nueva luz sobre la cuestión de la llamada generación espontánea"²⁵. Pasteur y Pouchet se inscribieron para competir por el premio. Los experimentos de los dos investigadores se repetirían ante una comisión, que daría su dictamen sobre las pruebas presentadas. Según Farley y Geison (1994), esta comisión quedó constituida por una lista de miembros contrarios a la generación espontánea²⁶.

Pouchet y sus colegas Joly y Musset no estaban interesados en repetir las experiencias de Pasteur usando infusiones de heno; ellos querían hacer investigaciones diferentes. Si lo hubieran hecho, habrían puesto en serios apuros a Pasteur,

25. La forma de resolver una polémica científica en Francia, *circa* 1840, solía ser mediante la creación de una comisión de pares académicos para revisar los resultados obtenidos por los contendientes.

26. Los hagiógrafos de Pasteur han obviado el contexto de este asunto por lo general. Sin embargo, otros historiadores externalistas de la ciencia y sociólogos de la ciencia de diversas corrientes relativistas han enfatizado el contexto de la controversia a partir de la obra de Pennetier, un discípulo de Pouchet. Estos autores insisten en que hubo una confabulación de la Academia contra Pouchet, resaltando que ambas comisiones estaban sesgadas desde su constitución a favor de Pasteur. No obstante, el estudio de la correspondencia privada de Pouchet con miembros de la Academia, incluyendo dos de los comisionados por esta para resolver la controversia, muestra que Pouchet mantenía una buena amistad con ellos.

que había utilizado infusión de levadura como material putrescible en sus experimentos, mientras que Pouchet había usado infusión de heno. La esterilización por calor de la infusión de levadura puede conseguirse a los 100 °C, mientras que se necesitan más de 120 °C para eliminar todos los gérmenes de la infusión de heno. El tratamiento por calor aplicado por Pasteur (100 °C) habría sido insuficiente para eliminar los gérmenes del caldo de heno.

La comisión no aceptó el extenso programa de investigación de Pouchet porque no creía que con esa propuesta se pudiera llegar a resultados claros. Pouchet y sus colegas rechazaron estas condiciones y se retiraron del concurso como protesta. Además, parece ser que algunos miembros habían anunciado su decisión favorable a Pasteur antes incluso de la presentación pública de los trabajos, lo que irritó profundamente a Pouchet. Pasteur y sus colaboradores mostraron sus resultados experimentales, prestando una atención especial a los aspectos técnicos con rigor y éxito. La Academia concedió el premio Alhumpert a Pasteur, en 1862, por su *Mémoire sur les corpuscules organisés qui existent dans l'atmosphère* (escrita en 1861).

Sin embargo, Pouchet y sus colegas Joly y Musset no se desanimaron. En 1863, Pouchet publicó una nueva edición aumentada de su libro, reiterando su creencia en la generación espontánea. Ese mismo año comunicó que, junto a sus otros dos colegas, había intentado reproducir los hallazgos de Pasteur sobre la distribución de los gérmenes en el aire con resultados distintos. Realizaron sus experimentos a diferentes altitudes en los Pirineos de Aragón, llegando hasta la Maladeta (3.000 m de altura). Encontraron que "dondequiera que se recogía un volumen notable de aire que entraba en contacto con un líquido orgánico, al abrir el matraz herméticamente sellado, el líquido mostraba el desarrollo de gérmenes vivos". Cuatro matraces se rompieron de los doce

que llevaban. Los cuatro que desprecintaron en Rencluse (2.083 m de altura) se contaminaron, así como los otros cuatro que abrieron en la Maladeta.

Con el fin de dilucidar la cuestión, Pouchet pidió a la Academia que volviera a nombrar una comisión para repetir ante ella los experimentos que los dos grupos de investigadores habían hecho con resultados tan diferentes²⁷. No obstante, esta nueva comisión también se constituyó sesgada en contra de la generación espontánea. Tres de sus cinco miembros ya habían estado en la comisión anterior. Uno de los nuevos era Balard, que había sugerido a Pasteur el diseño de los matraces con cuello de cisne, y el otro también era partidario de Pasteur.

Pasteur aceptó el reto, y después de un aplazamiento solicitado por Pouchet, así como de múltiples discusiones sobre la programación de las experiencias, Pouchet, Joly y Musset aceptaron asistir a la cita del 22 de junio de 1864, en el Museo de Historia Natural de París. Ese día, los dos grupos debían presentar sus trabajos de acuerdo con un programa organizado por la comisión. Pasteur llegó con sus colaboradores listo para la prueba, pero Pouchet y sus colegas tampoco se presentaron esta vez. El fallo de la comisión a favor de Pasteur, dictaminado el 20 de febrero de 1865, fue cuidadosamente enunciado y

27. Pouchet y sus seguidores interpretaban la aparición de microorganismos en las infusiones, dentro de aire aparentemente puro, como una prueba de la generación espontánea. Si los microorganismos no aparecían, el resultado era debido a un fallo experimental; por ejemplo, a que las propiedades vitales del aire se habían destruido en el proceso de purificación. Por el contrario, para Pasteur y los que no creían en la generación espontánea, la aparición de microorganismos en las infusiones, dentro de aire supuestamente puro, se interpretaba como un error experimental que había pasado inadvertido; por ejemplo, que la infusión o el aire que entraba se habían contaminado accidentalmente. Si los microorganismos no aparecían, era una prueba de que la generación espontánea no existía. Tanto Pouchet como Pasteur intentaron diseñar sus experimentos cuidadosamente y con el mayor rigor posible. Sin embargo, emplearon infusiones diferentes, que no intercambiaron, y las utilizaron en función de sus conclusiones. Como se ha señalado, ambos interpretaban de manera diferente los resultados erróneos que obtenían a veces.

referido estrictamente a los resultados, sin involucrar los aspectos teóricos más generales de la generación espontánea.

La actitud tan desigual con Pasteur y Pouchet de las dos comisiones nombradas por la Academia nos lleva a incluir la influencia de los aspectos sociológicos internos a la comunidad científica. Según varios autores (por ejemplo, Farley y Geison, 1994; Latour, 1991b), todos los miembros de ambas comisiones de la Academia eran favorables a Pasteur y, por consiguiente, Pouchet consideró que no se le daba una oportunidad equitativa para exponer sus ideas y sus experimentos. Sin embargo, Raynaud (1999) sostiene que, como ya hemos mencionado, la correspondencia disponible entre Pouchet y los miembros de la Academia muestra claramente que este tenía buena relación con muchos de ellos, incluido alguno de los comisionados, y que las dos comisiones, constituidas en 1861 y 1864, no se confabularon a favor de Pasteur.

CONTEXTO DE LA CONTROVERSIAS

Pouchet y Pasteur realizaron sus experimentos sobre la generación espontánea cuando estaba en auge la disputa relativa al darwinismo. Clémence Royer había traducido al francés *El origen de las especies* de Darwin, en 1862, incluyendo un vehemente prefacio a favor del materialismo, el ateísmo y la República²⁸; la polémica sobre la generación espontánea se vio así ligada a la de la evolución inevitablemente. Hablar de Darwin o de generación espontánea suponía referirse al mismo tiempo a biología, aspectos sociales, Dios y formas de

28. La respuesta a la pregunta "¿somos o no iguales que nuestros padres?" tenía fuertes repercusiones sociales y políticas en aquella época. Una respuesta afirmativa se asociaba a una posición conservadora, que servía de argumento para mantener el estatus social; en cambio, negarlo se vinculaba a una postura revolucionaria justo por lo contrario. El incendiario prefacio de Clémence Royer en la edición francesa de 1862 de *El origen de las especies* lo deja bien claro.

gobierno²⁹. Pasteur era un conservador fiel al emperador Luis Napoleón (Napoleón III)³⁰, el cual a su vez le tuvo en gran estima³¹. Aunque Pouchet no era un materialista radical, sino un conservador moderado, la burguesía católica parisina recelaba de sus ideas. Pouchet había desarrollado su teoría de la generación espontánea antes de que estallara en Francia la polémica darwinista, con fuertes implicaciones religiosas y políticas. Después, se mantuvo siempre fiel a su teoría, pese a ser consciente de que podía suponer una amenaza a las creencias políticas y religiosas que él compartía³².

Un examen de los escritos de Pouchet muestra que sus creencias religiosas influyeron en su trabajo al menos tanto como las de Pasteur³³. Cuando publicó su libro *Hétérogénie ou traité de la génération spontanée*, en 1859, criticó el materialismo y el darwinismo³⁴. Según el propio Pouchet, la negación de la generación espontánea equivalía a adoptar una posición atea y caer en el darwinismo. Para él, era necesaria la intervención divina en la creación para reconstruir las especies después de cada catástrofe geológica; esto es, para

29. Diversos regímenes políticos de signo muy diferentes se sucedieron en Francia durante el siglo XIX: Primer Imperio Napoleónico (1799), Restauración de la Monarquía, con varios monarcas (1815), Segunda República (1848), Segundo Imperio (1852) y Tercera República (1870), que incluye un brevísimo período de gobierno popular durante poco más de dos meses conocido como La Comuna (marzo-mayo de 1871).

30. En diciembre de 1851, Luis Napoleón disolvió la Segunda República, de la que era presidente desde 1848. Después del golpe de Estado, se autoproclamó emperador, en 1852, con el inestimable apoyo de la Iglesia católica y la burguesía conservadora.

31. Napoleón III alentó las investigaciones más prácticas de Pasteur y le ayudó a conseguir recursos económicos para continuarlas. Le nombró caballero de la Orden Imperial de la Legión de Honor (1853) y, años después, comandante de la misma Orden (1868).

32. Tanto Pasteur como Pouchet tenían ideas políticas conservadoras, si bien las de Pasteur estaban mucho más comprometidas con el poder institucionalizado que las de Pouchet.

33. Pasteur era un devoto católico. Pouchet, miembro de una familia protestante, estaba familiarizado con las Escrituras Sagradas.

34. Pouchet era contrario al darwinismo y al transformismo.

aceptar la generación espontánea mediante la heterogénesis (el nacimiento de seres vivos a partir de sustancias orgánicas procedentes de un progenitor que no es semejante) y no por abiogénesis (generación de organismos vivos a partir de la materia inanimada). Sin embargo, la generación espontánea también servía de argumento a los ateos para prescindir de Dios, puesto que la materia podía engendrar seres vivos por sí sola. En consecuencia, Pasteur asoció la posición de Pouchet con el materialismo, el ateísmo y el darwinismo en su célebre conferencia impartida, el 7 de abril de 1864, en las "Veladas científicas de la Sorbona"³⁵. No obstante, una vez hecho esto, también afirmó:

No hay aquí ni religión, ni filosofía, ni ateísmo, ni materialismo, ni espiritualismo que valga [...] Es una cuestión de hecho; la he abordado sin ideas preconcebidas, tan dispuesto a declarar, si la experiencia me hubiera impuesto la confesión, que existían generaciones espontáneas, como estoy convencido hoy de que los que lo afirman tiene una venda sobre los ojos (Farley y Geison, 1994: 253; Latour, 1991b: 488).

Invocar a Dios ante ese auditorio habría sido negativo; pero recurrir a ello para, inmediatamente, volver a situar el foco de la atención en los experimentos y los hechos, garantizaba la repercusión de los argumentos de Pasteur y debilitaba los de su adversario. Pasteur mostró así su gran habilidad en el uso de la comunicación pública. Ahora bien, Pouchet coincidía con Pasteur en que los resultados experimentales obtenidos debían ser el árbitro inapelable, fueran cuales fueran las grandes cuestiones que se cernían sobre la generación espontánea. Se puede recurrir a Dios,

35. Una traducción al castellano de la conferencia completa se puede consultar en: <http://www.valencia.edu/~orilife/Autors/Pasteur.htm>.

al soberano, la moral o la herencia, pero es imprescindible comprobar si el líquido de los matraces se enturbia o sigue inalterado. Los factores contextuales pueden condicionar la controversia, pero son incapaces de enturbiar los matraces. En consecuencia, Pasteur puso todo su empeño durante la conferencia en mostrar los fallos de los experimentos de Pouchet para intentar desmontar así la teoría de la generación espontánea.

Pasteur tuvo la oportunidad de exponer sus ideas en conferencias a las que asistió mucho público en París, mientras que Pouchet no la tuvo. Pasteur manejaba con gran eficacia la comunicación científica, con una excelente retórica y una puesta en escena histriónica, como ocurrió en la mencionada conferencia de las "Veladas científicas de la Sorbona".

No obstante, Pouchet movilizó a la prensa, sobre todo en 1864, para contrarrestar públicamente cualquier evaluación académica de sus resultados experimentales. Pouchet tenía contacto con periodistas amigos, que escribían a favor de la generación espontánea en el debate público paralelo que se realizaba en la prensa. El propio Pouchet entregaba a veces a los periodistas lo que quería ver publicado. Así pues, Pouchet estaba convencido del equilibrio entre ambos foros del debate, el académico y el periodístico, como lo atestigua una carta de junio de 1864 que envió a Noël, uno de los periodistas de su círculo de amistades: "En compensación, creo que la opinión pública es muy favorable a nosotros, y la conferencia infame de Paracelso II³⁶ ha tenido un efecto deplorable en todas partes" (Raynaud, 1999: 293).

36. Paracelso II era el mote que Pouchet y sus colaboradores le habían puesto a Pasteur.

RESURGIMIENTO Y DECAIMIENTO DE LA CONTROVERSIA

Aunque la Academia protegió a Pasteur, dando por cerrada la controversia y sin proponer nuevas investigaciones, los oponentes no permanecieron callados. La polémica de la generación espontánea se reabrió con fuerza en Inglaterra, durante 1872, a partir de los experimentos realizados por el médico Henry C. Bastian, publicados en su voluminoso libro *The beginning of life; being some account of the nature, modes of origin and transformation of lower organisms*. Pasteur tuvo que hacer nuevas investigaciones y comprobó que si no se alcanzaba una temperatura de 120 °C, no había seguridad de matar a todos los microorganismos. Se vio obligado a reconocer las limitaciones de las técnicas experimentales que había usado en su controversia con Pouchet, y diseñó procedimientos mucho más precisos para solventarlas. Ello contribuyó también a mejorar el desarrollo de la asepsia clínica en todas las especialidades quirúrgicas.

Más adelante, en su libro *Essays on the floating matter of the air in relation to putrefaction and infection* (1881), el físico británico John Tyndall (1820-1893) expuso una demostración concluyente de que la putrefacción no se produce en presencia de aire libre de polvo. Preparó cámaras experimentales con la superficie interior recubierta de glicerina. Las cámaras cerradas (cajones transparentes) se dejaban sin tocar durante varios días hasta que un rayo de luz, al pasar por unas ventanas laterales, indicaba que toda la materia flotante del aire se había sedimentado y había quedado adherida a las superficies de glicerina. Bajo estas condiciones, se podían exponer al aire de la cámara toda clase de líquidos orgánicos esterilizados, orina, caldo e infusiones vegetales que permanecían sin alterarse durante meses. Por tanto, el aire "ópticamente vacío", como lo llamó Tyndall, era estéril.

CUADRO 2

¿QUÉ PUEDE APORTAR ESTE TEXTO A UNA PERSONA INTERESADA EN LA CULTURA CIENTÍFICA?

1. Comprender el papel que las teorías tienen en la interpretación de los resultados experimentales.
2. Valorar el papel determinante de los diseños experimentales en los resultados obtenidos.
3. Entender que no suele haber experimentos cruciales que cierren las controversias por completo. Lo que en un momento dado se considera definitivo es posible que cambie en el futuro con experimentos más refinados y, sobre todo, cuando se contempla desde otras perspectivas.
4. Tomar conciencia de que las interpretaciones de los investigadores sobre las observaciones científicas están influidas por sus teorías y sus creencias teológicas, sociales y políticas.
5. Asumir que las comunidades científicas no son siempre objetivas al juzgar el trabajo de los científicos.
6. Comprender la posible influencia de las creencias religiosas de los científicos en algunas controversias científicas.
7. Reconocer la influencia de la política y de la sociedad en las controversias científicas.
8. Asimilar la importancia de una comunicación adecuada de los resultados de las investigaciones a los colegas y al público interesado.
9. Entender que las decisiones de los científicos para apoyar o rechazar una teoría no se basan en las pruebas empíricas exclusivamente. En el desarrollo de una investigación no solo influyen los valores puramente científicos, sino también otros contextuales relacionados con la comunidad científica a la que se pertenece y con la sociedad en general.

LA CONTROVERSIDA ENTRE PASTEUR Y LIEBIG SOBRE LA FERMENTACIÓN

La asociación de la fermentación de la levadura con la alimentación ha acompañado a la humanidad a lo largo de la historia. Alrededor del año 6.000 a. C. los babilonios consiguieron fabricar cerveza. Hacia el año 4.000 a. C. los egipcios aprendieron a utilizar la levadura para fabricar pan. La obtención del vino por fermentación de la uva se menciona en el Antiguo Testamento de la Biblia. Otros procedimientos artesanales conocidos desde antiguo son la preparación de vinagre, yogur y queso.

La fermentación también fue uno de los problemas favoritos entre los alquimistas. Ya durante los siglos XVIII y XIX, los químicos intentaron formular la fermentación alcohólica mediante reacciones químicas, siguiendo los métodos que les habían proporcionado tanto éxito en otros fenómenos naturales. Químicos franceses ilustres como Lavoisier (1743-1794), Gay-Lussac (1778-1850), Thénard (1777-1857) y Dumas (1800-1884) estudiaron la transformación de la caña de azúcar en alcohol por métodos cuantitativos. Lavoisier obtuvo una formulación sencilla del proceso que daba la

impresión de que se había descubierto la naturaleza del fenómeno, en el que no había lugar para la levadura. Todos los químicos de la época daban por hecho que esta acompañaba, y probablemente iniciaba, la fermentación. Sin embargo, aunque fuera el iniciador de la reacción, la levadura no parecía tomar parte en ella. Berzelius (1779-1848) denominó catálisis a este extraño fenómeno y definió el término "fermento" como un ejemplo de actividad catalítica. Poco después, Schwann (1810-1882) descubrió que la pepsina era la sustancia responsable de la digestión albuminosa en el estómago. Creía que esto era lo que Berzelius definía como catalizadores, o la fuerza de las reacciones químicas de los minerales, las sustancias orgánicas y la materia viva. Liebig (1803-1873) se opuso al uso de los términos "catalizador" y "pepsina", ya que solo eran una idea vaga.

Cagniard de La Tour (1777-1859), Schwann y Kützing (1807-1893) identificaron de forma independiente, en 1837, la levadura como un organismo vivo que se nutre cuando el azúcar fermenta. En 1839, a petición de la Academia de Ciencias de Francia, Turpin (1772-1853) confirmó en París las observaciones microscópicas de Cagniard de La Tour. Berzelius, Liebig y Wöhler (1880-1882) rechazaron esta idea de naturaleza vitalista. Ese mismo año, Liebig y Wöhler publicaron un artículo sobre el papel de las levaduras en la fermentación alcohólica ridiculizando grotescamente la naturaleza orgánica de este proceso. En 1858, Traube (1826-1894) afirmó que todas las fermentaciones producidas por organismos vivos se basan en reacciones químicas en vez de ser originadas por una fuerza vital.

Había una razón profunda para que los científicos de la época se mostrasen recelosos con la interpretación vitalista de la fermentación alcohólica. Puesto que esta podía ser descrita mediante una reacción química simple, no tenía sentido explicarla en función de un organismo vivo, en vez de

referirse a interacciones químicas y físicas. Pero lo cierto es que, a mediados del siglo XIX, no estaba claro lo que era una fermentación. Había tres teorías principales: química, vitalista y química modificada.

La teoría química era la del químico alemán Liebig. Siguiendo las ideas de Lavoisier, consideraba que la fermentación era una descomposición química causada por la putrefacción de una sustancia animal o vegetal, pero que no requería de la intervención de microorganismos; esto es, no era un proceso biológico. La interpretación que Liebig daba del proceso era que las vibraciones procedentes de la descomposición de la materia orgánica se extendían al azúcar.

En el caso de la fermentación alcohólica, Liebig creía que la levadura utilizada era una materia vegetal, de tipo albuminoso, que descomponía el azúcar al desencadenar una especie de putrefacción. En esta descomposición se producía alcohol, dióxido de carbono y otros subproductos. En el proceso se depositaba un producto que Liebig definía como un fermento insoluble. Este fermento, rico en nitrógeno, podía provocar la fermentación en otra disolución de azúcar.

El cambio lo facilitaba el fermento o levadura con las características de un compuesto nitrogenado en estado de putrefacción. El fermento es susceptible al cambio, se somete a descomposición por la acción del aire (que proporciona el oxígeno), agua (que da la humedad) y una temperatura favorable. Antes de ponerse en contacto con el oxígeno, los componentes están juntos sin interactuar. Mediante el oxígeno, el estado de reposo, o equilibrio, de las fuerzas atractivas que mantienen juntos los elementos del fermento es perturbado. Como consecuencia, se forma una separación o una nueva disposición de sus elementos. La fermentación se produce por transferencia de inestabilidad molecular del fermento (átomos en movimiento) a las moléculas de azúcar,

y continúa mientras siga su descomposición. De este modo, la teoría de la fermentación de Liebig se corresponde con la visión mecanicista del mundo, en el sentido filosófico que se le daba al término en el siglo XVII a partir de las contribuciones de Newton.

Liebig sostenía también que las sustancias orgánicas en putrefacción (orina, sangre, etc.) tenían propiedades fermentativas análogas. Por tanto, diferentes fenómenos se explicaban de la misma forma, tanto las fermentaciones clásicas (vino, cerveza, etc.) como las putrefacciones y transformaciones que experimentaban los alimentos en la digestión.

Las primeras notas sobre la fermentación del químico francés Pasteur (1822-1895) se encuentran en sus cuadernos de laboratorio en septiembre de 1855. Pero es en 1857 cuando hizo público el desarrollo de su teoría acerca de la fermentación en su *Mémoire sur la fermentation appelée lactique* (*Mémoire* en adelante), así como en otros trabajos posteriores. En esta publicación, recogía las ideas de Cagniard de La Tour y Schwann, hacía consideraciones sobre la disimetría molecular de las sustancias orgánicas, refiriéndose a las formas levógira (sinistra) y dextrógira (diestra) del ácido tartárico, y enfatizaba el carácter especulativo de su teoría.

Mémoire se considera uno de los escritos más importantes de Pasteur por los historiadores de la ciencia, aunque no ofrecía evidencias empíricas rigurosas sobre la participación de organismos vivos en la fermentación, que proporcionó después en *Nouvelles recherches sur la fermentation alcoolique* (1858) y, sobre todo, en su *Mémoire sur la fermentation alcoolique*, publicada en 1860.

Respecto a la relevancia de *Mémoire*, Geison (1974) ha escrito:

Con dos excepciones notables, esta memoria contiene los rasgos centrales teóricos y metodológicos de toda la obra de Pasteur sobre la

fermentación: la concepción biológica de la fermentación como el resultado de la actividad de los microorganismos vivos; la visión de que las sustancias presentes en el medio de la fermentación sirven de alimento al microorganismo y, por tanto, deben ser adecuadas a sus necesidades nutricionales; la noción de especificidad, según la cual cada fermentación se corresponde con un microorganismo específico; el reconocimiento de que determinadas características químicas del medio pueden promover o impedir el desarrollo de cualquier microorganismo en el mismo; la noción de competencia entre los diversos microorganismos para conseguir el alimento del medio; la suposición de que el aire puede ser la fuente de los microorganismos que aparecen en la fermentación, y la técnica para cultivar, directa y activamente, con el fin de aislar y purificar el microorganismo supuestamente responsable de una fermentación. Las dos características que faltan, que pronto completaron la concepción básica de Pasteur, fueron las técnicas de cultivo de microorganismos (que producen la fermentación) en un medio libre de nitrógeno orgánico y su noción de fermentación como "la vida sin aire" (Geison, 1974, citado por Latour, 1991a: 131-132).

En esta misma memoria, Pasteur escribió lo siguiente sobre la interpretación de la fermentación según Liebig:

A los ojos de [Liebig] un fermento es una sustancia excesivamente alterable que se descompone por sí misma y de ese modo estimula la fermentación como consecuencia de su alteración, perturbando mediante la comunicación y desmontando el grupo molecular de la materia fermentable. Según Liebig, esta es la causa principal de todas las fermentaciones y el origen de la mayoría de las enfermedades contagiosas. Berzelius cree que el acto químico de la fermentación debe hacer referencia a la acción de contacto (Latour, 1991a: 133).

La elección de la fermentación láctica, responsable de la acidez de la leche, en vez de la fermentación alcohólica en

la que había trabajado intensamente durante 1855 y 1856, obedeció a motivos estratégicos. Esta fermentación, que era químicamente la más simple posible, consiste en el desdoblamiento del azúcar en dos mitades, que son las moléculas de ácido láctico. Si conseguía demostrar que el proceso necesitaba de un organismo vivo (la levadura), podía servir de modelo general para otras fermentaciones.

En experimentos posteriores sobre la fermentación alcohólica, Pasteur usó dos matraces, uno de ellos con cuello de cisne. Vertió caldo en ambos matraces y los calentó por la parte inferior. Después de que el líquido hirviera, lo dejó enfriar. Entonces, observó que el caldo del matraz con cuello de cisne quedaba claro, salvo si se sacudía. Según su interpretación, el cuello del matraz podía detener el paso de la mayoría de las partículas y, por eso, el líquido se mantenía inalterado. Por el contrario, el líquido del otro matraz se degeneraba. Concluyó que esta fermentación necesitaba de la levadura, que estaba viva, pero no requería oxígeno; es decir, se trataba de una fermentación anaeróbica, que Pasteur describió como la "vida sin aire", característica de algunos microorganismos (tales como ciertas bacterias y levaduras). Cuando se permite que la levadura crezca, la sustancia se pudre con el tiempo. La interpretación de Pasteur de estas observaciones fue que los organismos vivos son los responsables del proceso de fermentación. Por tanto, es un proceso biológico, no un proceso químico de oxidación-reducción. Así pues, puede decirse que su teoría de la fermentación cae bajo el vitalismo.

En suma, para Pasteur la causa de la fermentación era la actividad biológica de determinadas levaduras (microorganismos). Al contrario que Liebig, formuló la hipótesis de que la levadura era un organismo vivo (posición vitalista), y que su acción sobre el azúcar no tenía que ver con procesos de desorganización o putrefacción. Lo deja bien claro al final de su *Mémoire* de 1857:

[...] cualquiera que juzgue imparcialmente los resultados de este trabajo, y lo que publicaré en breve, reconocerá conmigo que la fermentación parece ser correlativa a la vida y a la organización de glóbulos, y no a su muerte y putrefacción; en lugar de un fenómeno debido al contacto, en el que la transformación del azúcar se llevaría a cabo en presencia del fermento [...] sin tomar cualquier cosa de él (Latour, 1991a: 133).

¿Era válido este concepto de fermentación para todos los fenómenos que Liebig intentó explicar con su teoría? Pasteur lo resolvió a su modo, considerando que las fermentaciones verdaderas, según su teoría, se debían a la acción de microorganismos.

La tercera teoría era la del químico francés Berthelot (1827-1907). Al igual que Pasteur, admitía que podía haber una relación entre la fermentación y la actividad de una levadura, pero a diferencia de este, no creía que con ello se justificara una interpretación vitalista. Según Berthelot, la levadura segregaba una sustancia química que actuaba sobre el azúcar y la transformaba. Esta sustancia sería comparable a lo que hoy llamamos enzimas. Como Berthelot recordaba, la existencia de estos fermentos solubles se había mostrado experimentalmente, e incluso podían actuar sin la presencia del organismo del que procedían. En su obra *Química orgánica basada en la síntesis* (1860), afirmó que "el fermento no es el organismo vivo, sino la sustancia que este produce". Cabe destacar que esta interpretación, junto con la noción de enzima como biocatalizador, es la que se considera correcta hoy. La transformación del azúcar está provocada por enzimas en las fermentaciones alcohólica y láctica.

La principal dificultad en la época se debía al significado tan impreciso que tenía el término "fermentación", tanto en el lenguaje común como en el de los científicos. El propio Berthelot mencionaba el ácido sulfúrico como un fermento.

Sin embargo, se había conseguido establecer cierto orden que diferenciaba entre fermentos insolubles (microorganismos) y fermentos solubles, que incluían muchas sustancias que hoy se clasifican como enzimas.

Los argumentos de Pasteur para legitimar su teoría no fueron siempre precisos. Para ello, utilizó una estrategia semántica que consistía en convertir en definición su teoría. Así, estableció que las fermentaciones verdaderas eran las de carácter biológico, excluyendo a las fermentaciones químicas, que para él no eran auténticas. En efecto, Pasteur usó muchas veces la expresión "fermentaciones propiamente dichas", como escribiera en 1860:

[...] en consecuencia, la oposición que el Sr. Berthelot cree encontrar entre mis enunciados y los hechos reales, responde solamente a la extensión que le da a la palabra "fermento", mientras que yo la he aplicado únicamente a las sustancias que producen las fermentaciones propiamente dichas (Thuillier, 1990: 425).

Pasteur se aseguraba siempre tener la razón con este tipo de razonamiento circular. En efecto, era muy hábil en el uso de la retórica y las estrategias semánticas con el fin de persuadir a los demás, unas habilidades que desplegó con éxito en esta controversia y en la de la generación espontánea frente a Pouchet (véase el capítulo 4).

Aunque es cierto que es necesaria la presencia de células vivas para que se produzca la fermentación alcohólica o la fermentación láctica, la teoría de Pasteur estaba muy lejos de la explicación que se admite hoy. Sin embargo, su interpretación del fenómeno abrió el camino para hacer otras investigaciones muy fructíferas y, sobre todo, resolvió con acierto numerosos aspectos prácticos relativos a la mejora de las técnicas de fermentación; de ahí el éxito que tuvo en su época. Por el contrario, Liebig tenía razón en insistir en el

carácter químico de las fermentaciones; pero su concepción de los fermentos como sustancias en estado de descomposición daba una idea muy inexacta del fenómeno, que además resultó poco fecunda.

En un sentido estricto, Pasteur no definía la fermentación. Para ello, habría tenido que disponer de una teoría estructural que diera cuenta del mecanismo de la fermentación con precisión. Esto era algo que nadie conocía entonces. Se limitaba a señalar, de forma muy general, las causas de la fermentación y a dar una lista de reacciones para ilustrar este proceso. Del mismo modo que Liebig, Pasteur seleccionó algunos casos. Aunque su lista de ejemplos era incierta, discutible y hasta arbitraria, cumplía un doble objetivo. Por un lado, intentaba ordenar un conjunto de fenómenos mal conocidos y heterogéneos, y, por otro, establecer algunos esquemas generales que permitieran a la vez comprobar experimentalmente y justificar tal clasificación. Esta forma de proceder era un buen punto de partida para generar investigaciones útiles, por lo que el programa de investigación de Pasteur resultaba razonable, aunque pudiera parecer poco racional. Su lista de casos estaba más próxima a las fermentaciones clásicas que la de los partidarios de la teoría química de Liebig:

Llamo fermentaciones propiamente dichas [...] a las fermentaciones que he estudiado y que comprenden todas las fermentaciones mejor caracterizadas, aquellas que son tan viejas como el mundo, las que intervienen en la formación del pan, el vino, la cerveza, la leche agria, la transformación de la orina en amoniaco, etc., aquellas cuyos fermentos son, según mis investigaciones, seres vivos que nacen y se multiplican durante el acto de la fermentación (Thuillier, 1990: 431).

Hablando de sus trabajos sobre la fermentación, en su *Mémoire*, Pasteur reconoce que partió de ideas preconcebidas, que fue más allá de los hechos y que, en rigor, sus ideas

no podían demostrarse de manera irrefutable; pero que, a pesar de todo ello, procedía de manera lógica.

Por muy temerarias que fueran las generalizaciones de Pasteur, le permitían avanzar. Es lo que, en términos del filósofo Lakatos, se conoce como un programa de investigación progresivo, que se mostró fecundo durante un tiempo. Y todo ello a pesar de que en sus textos más científicos recurriera con frecuencia a hechos discutibles, manifestaciones dogmáticas, astucias retóricas, alusiones frecuentes a las necesidades industriales y hasta patriotismo nacionalista, como en el siguiente escrito:

En el momento en el que yo emprendo aquí, contra el Sr. Liebig, la defensa de una opinión que, después de todo, pertenece a la ciencia francesa, ¿por qué el Sr. Fremy se proclama, de forma al menos inoportuna, campeón de la ciencia alemana, con la que estoy anheloso de volver a emprender un combate del que me he apartado a pesar mío? (Thuillier, 1990: 432).

Estos aspectos han dado pie a que, desde el último cuarto del siglo XX, se haya privilegiado la perspectiva sociológica en muchas publicaciones sobre Pasteur. En ellas, se enfatizan los factores sociales, económicos, políticos, ideológicos y religiosos, pasando a segundo plano los análisis epistemológicos. Por ejemplo, se resalta la influencia que tuvo el hecho de que Pasteur fuera un fiel seguidor del emperador Luis Napoleón (Napoleón III) y que este apoyara sus investigaciones más prácticas, ayudándole a conseguir recursos económicos para continuarlas.

Asimismo, respecto a lo económico, se destaca que Pasteur utilizara un nuevo método para eliminar los microorganismos que pueden degradar el vino, el cual consistía en encerrar el líquido en cubas bien selladas y elevar su temperatura hasta 45-50 °C durante un tiempo breve, protegiéndolo

del oxígeno. A pesar del rechazo inicial de la industria vinatera a calentar el vino, experimentos controlados con lotes de vino calentado y sin calentar demostraron la efectividad del procedimiento.

De este modo nació la pasteurización. Pasteur y su colega Claude Bernard (1813-1878) realizaron la primera pasteurización el 20 de abril de 1864. La fermentación puede producir nutrientes o eliminar antinutrientes. Los alimentos pueden preservarse por fermentación, ya que esta usa la energía que extrae de ellos y puede crear condiciones inadecuadas para los organismos indeseables; por ejemplo, avinagrando el ácido producido por la bacteria dominante se inhibe el crecimiento de los demás microorganismos.

Aunque los aspectos anteriores permiten conocer mejor algunas realidades históricas contextuales muy interesantes, hay que intentar mantener el equilibrio necesario. No hay que rechazar el punto de vista sociológico en los estudios sobre las investigaciones de Pasteur, pero tampoco el epistemológico, pues ambos son las dos caras de la misma moneda.

La controversia entre Pasteur y Liebig sobre la naturaleza de la fermentación alcohólica fue aclarada años después por el químico alemán Eduard Büchner (1860-1917). Influído por su hermano, el bacteriólogo Hans Büchner (1850-1902), se interesó por el proceso de la fermentación alcohólica, en el que la levadura descompone el azúcar en alcohol y dióxido de carbono. Publicó su primer artículo en 1885, en el que explicó que la fermentación puede ocurrir en presencia de oxígeno (fermentación aeróbica), una conclusión contraria a la teoría de Pasteur.

Hacia 1893, Eduard Büchner estaba dedicado por completo a la búsqueda del agente activo de la fermentación. Obtuvo muestras puras del fluido interior de las células de levadura mediante su pulverización dentro de una mezcla de arena y tierra de diatomeas, para pasar luego la mezcla a

través de un filtro de tela. Este procedimiento evitaba el uso de disolventes y altas temperaturas, un método drástico y destructivo que había frustrado investigaciones anteriores. Suponía que el líquido recogido sería incapaz de producir la fermentación porque las células de levadura estaban muertas. Sin embargo, cuando intentaba mantener el líquido en el azúcar concentrado, observó la liberación de dióxido de carbono, una señal de que se estaba produciendo la fermentación. Büchner estableció entonces la hipótesis de que la fermentación era causada por una enzima a la que llamó zimasa. En 1897, publicó que la fermentación era el resultado de procesos químicos que se daban tanto en el interior como en el exterior de las células.

La disputa entre Liebig y Pasteur ralentizó, en cierto modo, el avance de la ciencia en el área de la fermentación y las enzimas, pues ninguno de los dos tenía razón del todo. No obstante, las ideas en conflicto también aceleraron la investigación en el mismo campo por las contribuciones de otros científicos. Gracias al trabajo de Büchner, se allanó el camino a los estudios de enzimas y la fermentación, lo que dio lugar a un momento clave de la historia de la química moderna.

CUADRO 3

¿QUÉ PUEDE APORTARLE ESTE TEXTO A UNA PERSONA INTERESADA EN LA CULTURA CIENTÍFICA?

1. Asimilar que las observaciones científicas que hacen científicos competentes serán distintas si estos creen en teorías diferentes. En cualquier observación, subyace una carga teórica que le sirve de guía.
2. Comprender que las distintas interpretaciones de los científicos se relacionan con la forma de clasificar los fenómenos que investigan. La naturaleza es muy compleja y los científicos pueden usar esquemas de clasificación diferentes porque clasifican de acuerdo con sus percepciones y teorías.

3. Reconocer que la naturaleza no proporciona datos tan simples como para que puedan ser interpretados sin ambigüedades a partir de las evidencias empíricas.
4. Entender que las teorías científicas son explicaciones de los fenómenos naturales y que uno de sus rasgos es la provisionalidad.
5. Asumir que el desarrollo del conocimiento científico es una búsqueda permanente que no lleva a verdades inmutables, sino a resultados provisionales o tentativos sobre cómo funciona la naturaleza.
6. Comprender que algunos errores pueden retrasar el progreso de la ciencia, pero otros pueden conducir a nuevos descubrimientos.
7. Asimilar que cuando se desarrollan nuevas teorías, los científicos necesitan hacer algunas suposiciones sobre cómo es el comportamiento de la naturaleza. Estos supuestos no tienen que ser necesariamente verdaderos para que la ciencia pueda avanzar.
8. Valorar que los científicos son imaginativos cuando formulan preguntas de investigación, establecen hipótesis, diseñan experimentos rigurosos e interpretan los hechos empíricos.
9. Entender que una teoría científica errónea puede ser fecunda si abre camino para hacer investigaciones nuevas en diversas áreas.
10. Entender que una teoría científica suele tener más éxito en la sociedad si tiene aplicaciones prácticas industriales, sanitarias, económicas, etc.
11. Valorar la influencia de la política en las investigaciones: tanto por el apoyo que se puede recibir de los gobernantes como por la visión que se pueda tener de una ciencia nacionalista.
12. Comprender que cuando los científicos discuten las ideas y teorías de otros, probablemente las revisarán o actualizarán y, a veces, surgirán nuevas teorías o se abrirá el camino a otros estudios que amplíen el campo de investigación sobre la cuestión analizada u otras relacionadas.
13. Apreciar que la existencia de teorías diferentes sobre un mismo asunto científico es un gran estímulo para el avance de la ciencia: por ejemplo, se suelen desarrollar técnicas experimentales novedosas en el transcurso de tales procesos.

Mendel publicó sus leyes sobre la transmisión de los caracteres biológicos de padres a hijos entre 1865 y 1866. Aunque no se hizo público hasta 1971, el descubrimiento del ADN se realizó en 1869 por Miescher, que investigaba la sustancia por la que los caracteres biológicos hereditarios se conservan y transmiten de generación en generación. Llamó nucleína a esta sustancia por su asociación con el núcleo celular. En 1898, su alumno Altmann separó la nucleína de su componente proteico y la denominó ácido nucleico por los grupos de naturaleza ácida que presentaba la macromolécula. Por la misma época, el químico alemán Kossel encontró que la nucleína contenía bases púricas y pirimídicas. Durante muchos años, los biólogos fueron reacios a aceptar al ADN como material hereditario. Pese a las evidencias experimentales presentadas por Avery, MacLeod y McCarty en 1944 a favor de esta suposición, se consideraba que las proteínas eran las mejores candidatas a ser la sustancia hereditaria. Hasta que, en 1952, Hershey y Chase demostraron que la información genética está contenida en el ADN.

Laue, Knipping y Friedrich comprobaron, en 1912, que cuando un haz de rayos X pasa a través de un cristal, este se dispersa de tal modo que un diagrama determinado se puede registrar en una película, si bien tal registro tiene la apariencia de un conjunto de manchas para alguien que no tenga experiencia en cristalografía. Los diagramas obtenidos varían de una sustancia a otra, pero no para la misma sustancia. William Bragg y su hijo Lawrence Bragg mejoraron esta técnica, y la cristalografía se estableció como un campo de gran potencial científico. El uso de la transformada de Fourier permitió la realización de representaciones tridimensionales que facilitaron la localización de las posiciones de los átomos que formaban la molécula de una sustancia. Las técnicas de difracción de rayos X empezaron a usarse para elucidar la estructura de macromoléculas biológicas. Sin embargo, la aplicación de estas técnicas tuvo serias dificultades en este ámbito, pues los diagramas de las grandes moléculas biológicas eran muy complejos, lo que dificultaba mucho su interpretación mediante un análisis matemático.

EL SECRETO DE LA VIDA

“¡Hemos encontrado el secreto de la vida!”
... vociferó Crick en el pub The Eagle.

CAMBRIDGE, 28 DE FEBRERO DE 1953

En los actos de celebración del cuadragésimo aniversario del descubrimiento de la estructura molecular ADN, Francis Crick (1916-2004) empezó así su intervención:

En primer y más importante lugar, debo recordar a Rosalind Franklin, cuyas contribuciones no han sido suficientemente reconocidas en estas reuniones del cuarenta aniversario de su descubrimiento. Fue Rosalind quien demostró claramente la existencia de dos formas de

ADN —la forma A y la B—. Fue Rosalind quien, con gran esfuerzo, determinó la densidad, las dimensiones celulares exactas y la simetría de la forma B, evidencia que sugirió muy firmemente que la estructura tenía dos cadenas (y no solo una), que circulaban en direcciones opuestas (Sánchez Ron, 1999: 271).

En 1962, Crick compartió el Premio Nobel de Medicina y Fisiología con James Watson (1928) y Maurice Wilkins (1916-2004). La mención decía: "Por sus descubrimientos sobre la estructura molecular de los ácidos nucleicos y su trascendencia en la transferencia de la información en el material vivo". Entre las tres conferencias de los galardonados se citaban 96 referencias, pero ninguna de ellas era de Rosalind Franklin (1920-1958). Solo Wilkins la incluyó en sus agradecimientos a instancias de Crick.

Watson (2000) narró su versión del descubrimiento en su célebre libro *La doble hélice*. La descripción misógina que hace de Franklin es mezquina, además de que hablaba de una persona que había muerto en 1958, diez años antes de la primera edición del libro en inglés, y que no podía defenderse. Se refiere a ella como "Rosy", un apodo por el que no era conocida, y la describe como una mujer poco femenina, que no cuidaba demasiado su aspecto, inflexible, rígida, agresiva, altiva y algo "marisabidilla".

En el epílogo, Watson modificó la opinión que sostiene de Franklin a lo largo del libro. Ahí reconoce que su trabajo en el King's College fue magnífico, e incluso le concede cierto crédito por sus contribuciones: "[...] aprendimos a valorar enormemente su honradez y a comprender, con demasiados años de retraso, las luchas a la que una mujer inteligente se enfrenta para ser aceptada en un mundo científico [...]" (Watson, 2000: 196). Sin embargo, reconoció posteriormente que el epílogo se debió en parte a la presión de Aaron Klug, amigo de Franklin y heredero de sus cuadernos

de notas de laboratorio, y del propio Crick para que añadiera algo que rectificase el retrato de Franklin que mostraba en el manuscrito original.

EL KING'S COLLEGE DE LONDRES

En 1951 se sabía que el ADN era un polinucleótido. También se disponía de algunas fotos de la molécula por difracción de rayos X, hechas por Astbury en 1938. Estas primeras imágenes del ADN mostraban la dificultad de fotografiar la molécula por este método. Los datos eran insuficientes para conseguir una interpretación significativa de su estructura. Lo que se podía observar era el diámetro de la molécula, más grueso que si tuviese una única cadena polinucleotídica. Ello llevó a suponer que podría estar formada por varias cadenas enrolladas entre sí. Si esto era cierto, era necesario deducir los tipos de enlaces que las mantenían unidas (por puente de hidrógeno o iónicos) y también cómo se conservaba la forma de la molécula.

Una vez descartadas las proteínas, lo más importante para la mayoría de los biólogos de esa época era el papel que podía tener el ADN como material capaz de almacenar información genética y transmitirla de una generación a otra. La respuesta a la pregunta sobre los mecanismos de la herencia podría basarse, pues, en la estructura del ADN. Sin embargo, elucidarla era complicado porque el ADN es una sustancia amorfa y difícil de manejar. Por tanto, tal vez no fuera posible descifrarla mediante difracción de rayos X.

Durante su estancia en el Laboratoire Central des Services Chimiques de l'Etat (París, 1947-1950), Franklin aprendió cristalografía por difracción de rayos X y dominó esta técnica con gran destreza. Interpretó diagramas de carbones duros y grafitos. Mejoró los métodos de difracción de

rayos X para la determinación de estructuras de sustancias más grandes y complejas y desarrolló análisis matemáticos adecuados.

El físico John T. Randall era el director del King's College de Londres. Para completar un equipo interdisciplinar de físicos, químicos y biólogos, ofreció a Franklin un proyecto de investigación cuyo objetivo sería analizar el ADN mediante técnicas cristalográficas. Ella entendió que se le proponía un trabajo como investigadora independiente en un tema atractivo, que estaba adquiriendo gran importancia científica. No obstante, hubo un malentendido, pues la posición que Franklin ocuparía en el King's no quedó del todo clara cuando la científica se incorporó³⁷. Por entonces, el King's ya tenía puesto en marcha un programa de investigación sobre el ADN a cargo de Wilkins³⁸, que había obtenido algunas fotos de la molécula por difracción de rayos X³⁹. Aunque estas eran de más calidad que las disponibles hasta entonces, aún no tenían toda la nitidez deseada, y por eso se había contratado a Franklin como especialista en técnicas cristalográficas.

Franklin y Wilkins no sintonizaron desde que se conocieron y surgió una animosidad personal entre ambos. No fueron capaces de colaborar entre sí, pues se mostraron siempre muy poco flexibles. La posición de cada uno de ellos en el laboratorio no estaba clara. Franklin creía que se le había contratado para trabajar con la misma categoría que

37. Después de la muerte de Franklin, apareció una carta de Randall a Franklin, fechada el 4 de diciembre de 1950, en la que le dice que solo ella, auxiliada por Gosling, trabajaría con el ADN. Parece ser que Randall no le comunicó esta decisión a Wilkins.

38. Wilkins, físico de formación, trabajó en radares durante la Segunda Guerra Mundial y participó con Randall en el famoso proyecto Manhattan de la bomba atómica. En 1950 era el director adjunto de la Unidad de Investigación Biofísica del King's College, donde llevaba cinco años trabajando cuando llegó Franklin.

39. Véase una de las fotos del ADN tomada por Wilkins en <https://www.dnalc.org/view/15875-Wilkins-X-ray.html>

Wilkins; pero este la consideraba una subordinada, situación que ella jamás admitió. Randall, el director del laboratorio, no parecía o no quería estar al tanto del conflicto y no se preocupó de resolverlo. Puede que hubiera un malentendido al principio, pero las relaciones empeoraron más con el tiempo. Franklin y Wilkins nunca superaron sus diferencias y no aunaron esfuerzos en la investigación del ADN.

EL LABORATORIO CAVENDISH DE CAMBRIDGE

Por esa época, Crick y Watson trabajaban en el Laboratorio Cavendish de Cambridge. Crick era un físico de gran vitalidad y muy creativo. Watson era un ambicioso biólogo norteamericano muy joven, recién llegado a Inglaterra. Empezó a trabajar con Crick en el problema del ADN, aunque su beca era para investigar sobre virus. Hay que destacar su gran mérito al intuir que era esencial dilucidar la estructura del ADN en relación con su función genética. Crick pensaba que el ADN era más importante que las proteínas cuando conoció a Watson⁴⁰. Ambos simpatizaron desde el primer momento y surgió una alianza sólida que fue muy productiva. Tenían cualidades complementarias y una gran afinidad de caracteres; justo lo contrario de lo que ocurría con Franklin y Wilkins:

[...] habíamos desarrollado métodos de colaboración tácitos pero provechosos, algo que no existía en el grupo de Londres. Si alguno de los dos sugería una idea, el otro, tomándola en serio, intentaría rebatirla abiertamente pero sin hostilidad. Esto resultó fundamental [...]

40. No parece que Wilkins estuviera convencido del todo de que el ADN fuera la sustancia genética cuando obtuvo algunas imágenes de rayos X en junio de 1950. Así, en agosto de ese año escribió: "Lo que más nos gustaría, por supuesto, es descubrir para qué sirve el ácido nucleico en las células" (Martínez-Pulido, 2000).

es sumamente importante no quedar atrapado por las propias ideas equivocadas. La ventaja intelectual de la colaboración es que ayuda a que uno se dé cuenta de las suposiciones que son falsas (Crick, 1989: 84-85).

La investigación del ADN pertenecía oficialmente al King's College. Lawrence Bragg, director del Cavendish, no alentaba la investigación del ADN en su laboratorio, pero tampoco la impedía del todo:

Una de las extrañas circunstancias de toda esta historia es que ni Jim [Watson] ni yo estábamos oficialmente trabajando con ADN [...] Ambos estábamos convencidos de que el ADN era esencial, aunque no creo que nos diéramos cuenta de lo importante que llegaría a ser. Inicialmente yo opinaba que descifrar los patrones de rayos X de las fibras de ADN era un trabajo para Maurice y Rosalind, y sus colegas del King's College de Londres, pero a medida que el tiempo pasaba Jim y yo nos fuimos impacientando con sus lentos progresos y sus métodos pedestres. La frialdad entre Rosalind y Maurice tampoco mejoraba las cosas (Crick, 1989: 82-83).

Watson insistía en que la deplorable situación en el King's por las tensiones y diferencias entre Franklin y Wilkins estaba poniendo trabas y perjudicando el progreso científico. Por ello, le parecía lícito que otros tuvieran también derecho a trabajar en lo que, creía, era el gran tema del momento entre 1951 y 1953. Además, consideraba que había cierta competición científica en la elucidación de la estructura del ADN. Según Watson, participaban tres grupos en esta carrera: Wilkins y Franklin, aunque sin colaboración efectiva; el de Linus Pauling, en el Instituto Tecnológico de California (Caltech), y el propio Watson junto a Crick. Sin embargo, parece ser que Watson y Crick eran los únicos que estaban intentando alcanzar la meta y publicar los resultados

lo antes posible. Franklin estaba al margen de esa supuesta competición y Pauling reconocía que no estaba trabajando lo suficiente en el ADN porque no tenía buenos datos ni demasiado tiempo para ello, como se colige de que, a final del año 1952, propusiera con Corey un modelo erróneo de triple hélice con los grupos fosfato hacia el interior de la molécula de ADN, publicado en los *Proceedings of the National Academy of Sciences*, en febrero de 1953.

DOS ENFOQUES METODOLÓGICOS DE INVESTIGACIÓN Y DOS FINALIDADES DISTINTAS

Para elucidar la estructura de una molécula los científicos disponían de dos métodos complementarios en esa época: la difracción de rayos X y la construcción de modelos hipotéticos con metal, alambre, cartón u otros materiales que les permitían representar las uniones complejas de los átomos de una molécula en tres dimensiones. Con ellos se podían hacer diversas pruebas variando las posiciones de los átomos hasta que encajaran entre sí. Pero un modelo representativo solo podía ser válido si era corroborado por los resultados experimentales obtenidos mediante difracción de rayos X.

Watson señala en su libro que los modelos tridimensionales de Pauling fueron su principal fuente de inspiración a la hora de decidir los tamaños, formas y disposición espacial de las subunidades que conforman la molécula del ADN (Watson, 2000). Sin embargo, Wilkins y Franklin no estaban convencidos de que este método pudiera resolver la estructura del ADN sin disponer de datos radiológicos suficientemente claros para poder discutir las estructuras posibles:

El enfoque de Franklin era analítico: se medían los ángulos e intensidades de los patrones de difracción y se intentaban interpretar las

longitudes de enlace y otras características mediante la aplicación de un detallado análisis matemático. Por el contrario, Watson y Crick se esforzaban en encajar las piezas como si se tratara de un rompecabezas y "predecir" a partir de ahí el patrón de difracción que le habría de corresponder, ajustando el modelo hasta que encajara con el patrón observado (Gribbin, 1986: 183).

Hacia finales de 1951, Watson y Crick construyeron un modelo de tres hélices, con la secuencia de azúcar y fosfato hacia el interior de la molécula y las bases nitrogenadas⁴¹ orientadas al exterior, unidas por iones de magnesio, que resultó un fiasco. Cuando se lo mostraron a Franklin y Gosling⁴², ella les señaló los errores químicos y estructurales que habían cometido. Watson y Crick no tenían claros los datos de difracción de rayos X, mientras que Franklin disponía de los suficientes como para sugerir que el ADN era una estructura helicoidal, formada por un azúcar y un grupo fosfato que se encontraban en el exterior de la molécula, y que las bases nitrogenadas deberían aparecer hacia el interior.

Para Franklin, y quizás también para Wilkins, era posible elaborar un modelo atractivo y de apariencia correcta, pero tendría mucha probabilidad de ser erróneo sin un gran número de datos empíricos en los que basarse. Sin embargo, esta no era la opinión de Pauling, ni la de Watson y Crick:

Lo que Pauling nos enseñó es que la construcción meticulosa y exacta de un modelo podía representar una limitación [...] En algunas ocasiones, esto podía conducir a la estructura correcta, empleando solamente un

41. Guanina (G) y adenina (A) son bases púricas; citosina (C) y timina (T) son bases pirimídicas.

42. Raymond Gosling (1928-2015), físico de formación, realizó su doctorado en el King's College de Londres; primero bajo la supervisión académica de Wilkins y después, desde 1951, de la de Franklin, por decisión del director del director del King's. Trabajó con ambos utilizando técnicas de difracción de rayos X en la elucidación de la estructura del ADN.

mínimo de pruebas experimentales directas. Esta es una lección que recibimos y que Rosalind Franklin y Maurice Wilkins no supieron apreciar cuando intentaron descifrar la estructura del ADN (Crick, 1989: 73).

Es importante destacar que los propósitos de las investigaciones que se llevaban a cabo sobre el ADN en el Cavendish y en el King's eran diferentes. Watson y Crick buscaban sobre todo averiguar la función genética del ADN; es decir, saber cómo se replicaban los genes. Con otras palabras, la elucidación de la estructura del ADN no era para ellos un fin en sí mismo, sino un medio para lograr explicaciones sobre el código genético y la transmisión de la información genética. Watson era el único biólogo de los científicos implicados, y tanto él como Crick estaban influidos por la lectura del libro de Schrödinger (1983) *¿Qué es la vida?*, publicado por primera vez en inglés en 1944, en el cual se sugería que los fenómenos de la herencia biológica debían ser interpretados mediante la física y la química.

Los biólogos genetistas estaban más interesados en las potencialidades genéticas del ADN que en la propia estructura. Por el contrario, el propósito principal de Franklin y Wilkins en el King's era dilucidar la estructura del ADN con precisión a partir de datos obtenidos por difracción de rayos X; un objetivo acorde con los intereses de los cristalógrafos. No es extraño, pues, que los métodos de investigación seguidos en ambos casos fueran tan diferentes.

CONTRIBUCIONES DE ROSALIND FRANKLIN A LA ELUCIDACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL ADN

Entre enero del 1951 y junio de 1952, los progresos más importantes sobre la elucidación de la estructura del ADN en el King's se debieron a Franklin. En 1951, inició una búsqueda

sistemática para perfeccionar las técnicas de hidratación que le permitieran obtener fibras de ADN de cristalinidad elevada. Probó que los resultados obtenidos por Wilkins y Gosling correspondían a una forma A del ADN que se conseguía con una humedad relativa del 75 por ciento. Además encontró que, con una humedad más alta, se producía un cambio estructural a una nueva forma B, que es la molécula que suele encontrarse en los seres vivos⁴³. Franklin puso de manifiesto que todas las publicaciones anteriores sobre diagramas de rayos X del ADN eran de una mezcla de ambas formas cristalinas A y B. Asimismo, evidenció que el cambio entre las dos formas era reversible, que existían estados intermedios constituidos por mezclas de ambas. Esto explicaba las dificultades de los intentos previos que habían interpretado tales mezclas como una fase única.

A mediados de noviembre de 1951, Franklin ya contaba con material suficiente para presentar en un seminario organizado en el King's⁴⁴. Watson asistió a ese seminario, pero no tomó notas y se enteró de poco. La exposición de Franklin no revelaba *per se* la estructura del ADN, pero contenía elementos clave sin los que la estructura no se podría elucidar. Su trabajo iba por buen camino, pero Franklin consideraba que aún faltaban muchos datos para empezar a construir modelos⁴⁵.

43. Los cambios estructurales al variar la humedad sugirieron a Franklin una posible estructura del ADN. Dedujo que la unidad estructural básica era un grupo de cadenas polinucleotídicas dispuestas de tal forma que los grupos fosfato eran hidrófilos; esto es, estaban expuestos y accesibles al agua. Las cadenas se mantendrían unidas por puentes de hidrógeno entre las bases (G, A, C, T), que estarían en el centro de la molécula alejadas del agua. Esta era una imagen bastante aproximada a la que sería definitiva.

44. Los datos que Franklin usó en ese seminario se conservan en las notas que preparó para la ocasión. Hay un documento en el que se describen los experimentos de hidratación de las fibras de ADN, además de los diagramas de difracción de rayos X tomados por ella.

45. La metodología de Franklin, de base empírica, consistía en hacer experimentos muy cuidadosos para establecer luego inferencias a partir de sus observaciones. La de Watson y Crick era más teórica, mediante la construcción de modelos hipotéticos.

Posteriormente, a partir de 1952, Franklin decidió estudiar también la forma A del ADN, cuyas imágenes eran más complejas y difíciles de interpretar. Consideraba que cualquier modelo de la estructura del ADN tenía que explicar ambas formas. Creía que no existían razones para abandonar la forma A sin haberla investigado a fondo; si el ADN se encontraba en dos formas distintas, ambas deberían estar relacionadas entre sí. Sin embargo, la forma B fue la más productiva, ya que sugirió la estructura correcta, mientras que la forma A no mostraba evidencias de una disposición helicoidal.

Franklin volvería a profundizar en la forma B una vez terminados sus estudios con la forma A del ADN. Hizo fotos de gran calidad en su cuidadoso y sistemático trabajo experimental, entre ellas la famosa foto 51 de la forma B, en mayo de 1952, que Watson describiría en su libro como una fotografía clave. Esa foto mostraba claramente que la forma B del ADN era una hélice con una repetición axial de 34 \AA ($3,4 \text{ nm}$) y un espaciado entre los nucleótidos de $3,4 \text{ \AA}$ ($0,34 \text{ nm}$)⁴⁶.

En suma, los cuadernos de laboratorio de Franklin de la última mitad de 1952 y principios de 1953 reflejan que creía que la forma B era helicoidal y que la hélice estaba constituida por dos cadenas en vez de tres⁴⁷. Teniendo en cuenta su deducción sobre la localización de los fosfatos hacia el exterior de las cadenas de la doble hélice, disponía en esa época de dos de las cuatro claves para establecer la estructura molecular del ADN. Las otras dos que faltaban eran el apareamiento

46. Una excelente interpretación visual de la foto 51 del ADN tomada por Rosalind Franklin se muestra en <https://www.dnalc.org/view/15874-Franklin-s-X-ray.html>

47. Las notas de sus cuadernos muestran que Franklin sabía que la forma B se correspondía con la de una molécula helicoidal compuesta por un número de cadenas cuya exactitud dudaba, aunque sus mediciones indicaban que podía haber dos o tres por molécula. Creía que en la forma B había dos cadenas, con diez nucleótidos cada una por vuelta. En cambio, no estaba segura de que la forma A fuese una hélice. Puede verse una muestra manuscrita de su cuaderno de laboratorio, fechado en enero de 1953, en http://www.xtal.iqfr.csic.es/Cristalografia/archivos_10/jaque_a_la_dama.pdf

complementario entre las bases y que las dos cadenas eran antiparalelas. Franklin no estaba tan lejos de elucidar la estructura del ADN⁴⁸. Sin embargo, Watson y Crick recibieron mucha más ayuda de la investigadora de la que ella nunca sospechó.

EL MODELO DEFINITIVO DEL ADN

En enero de 1953, sin conocimiento de Franklin, Wilkins le mostró a Watson la famosa foto 51 de la forma B del ADN, en la que se evidenciaba que la estructura del ADN obedecía a una doble hélice; algo que Watson y Crick no habían establecido hasta entonces y que usarían como uno de los elementos clave para desarrollar su modelo de la molécula del ADN. Watson comprendió enseguida que el diagrama, con una cruz negra dominando la foto, correspondía a una estructura helicoidal. La prueba de que era una hélice fue tan evidente para él como antes lo había sido para Franklin. También proporcionaba otros parámetros esenciales, como el diámetro de la molécula y el ángulo de inclinación de las bases; además, permitía realizar ciertos cálculos para determinar el número de cadenas por molécula.

Watson y Crick también recibieron más información por otro lado. En diciembre de 1952, el comité del Medical Research Council se reunió en el King's para promover investigaciones de biofísica en áreas de medicina. En esa

48. Para Franklin, con una gran formación en cristalografía, resolver el problema de la elucidación de la estructura del ADN era una finalidad en sí misma. Por el contrario, para Watson y Crick solo era un medio para dar respuesta a la pregunta más amplia que se hacían los genetistas: ¿cómo transmiten los genes la información genética? Por tanto, ni la pregunta de investigación ni los objetivos perseguidos eran los mismos en el King's que en el Cavendish. Estos propósitos tan distintos explicarían, en parte, la diferencia entre las metodologías empleadas en ambos casos.

reunión, Randall distribuyó un informe donde se describían los trabajos más recientes realizados en su laboratorio, que incluía un resumen de Franklin y Gosling con los datos de sus experimentos de rayos X con el ADN. Max Perutz, un cristalógrafo famoso que investigaba con proteínas en el Cavendish, era miembro del comité y recibió una copia del informe; Crick le pidió verlo y, al no ser confidencial, Perutz se lo mostró. Años después, Crick reconoció que la idea de que las dos cadenas eran antiparalelas se le ocurrió después de leer ese informe.

Watson y Crick empezaron a relacionar toda la información disponible sobre el ADN como nadie lo había hecho hasta entonces. Además de los datos de Franklin, usaron las reglas de Chargaff, que había mostrado que la proporción relativa entre parejas de bases púricas y pirimídicas de la molécula de ADN (A-T y G-C) era 1:1. Después de varias charlas sobre este asunto con el matemático John Griffith, que realizó unos cálculos de las interacciones puestas en juego, Crick comprendió que las fuerzas de atracción se producían entre bases complementarias y no entre bases semejantes. En definitiva, Watson y Crick elaboraron su modelo con gran creatividad a partir de ideas propias, como el apareamiento de las bases nitrogenadas⁴⁹, de suma importancia biológica, y con datos del ADN aportados por otros investigadores.

En la primavera de 1953, Watson y Crick construyeron el modelo que resolvería la estructura del ADN. Propusieron una estructura que respondía a la mayoría de las cuestiones planteadas. Esta consistía en dos cadenas antiparalelas; el esqueleto azúcar-fosfato dispuesto hacia el exterior, mientras

49. Donohue, un cristalógrafo norteamericano experto en enlaces por puente de hidrógeno que estaba de visita en el Cavendish, le sugirió a Watson que lo más probable era que las bases del ADN fueran cetónicas en vez de enólicas, que era como se formulaban incorrectamente en los libros de química de la época. Esta información fue de gran ayuda para resolver la relación de las bases entre sí.

que las bases nitrogenadas estaban proyectadas hacia el interior, y, por último, las dos cadenas unidas por puentes de hidrógeno entre bases nitrogenadas complementarias enfrentadas (A-T y G-C).

Franklin dio por correcto este modelo, pero lo que no supo nunca es que Watson y Crick habían tenido acceso a sus resultados sin publicar. Lo único que ella creyó haber proporcionado fue lo que expuso en el seminario de 1951. Es justo, pues, enfatizar que Franklin tuvo un papel importante en la elucidación de la estructura del ADN.

El 28 de febrero de 1953, Watson y Crick habían descifrado la estructura del ADN, y el 25 de abril de ese año publicarían un artículo del descubrimiento en *Nature* (Watson y Crick, 1953a). Al final del mismo se dice que su trabajo había sido estimulado por el conocimiento de los resultados experimentales no publicados y las ideas de Wilkins, Franklin y sus colaboradores del King's. En ese número de la revista se publicaron, a continuación del anterior, un artículo de Wilkins, Stokes y Wilson (1953) y otro de Franklin y Gosling (1953a) que proporcionaban evidencia experimental sobre la doble hélice de la estructura molecular del ADN. En su artículo, Franklin y Gosling (1953a) señalaban que las fotografías de la forma B del ADN eran consistentes con una estructura helicoidal, en particular la foto 51. En otro artículo posterior, publicado en julio, Franklin y Gosling (1953b) mostraron que la forma A también contenía dos cadenas helicoidales similares a las encontradas en la forma B. Estas estructuras estaban lo suficientemente próximas para explicar la reversibilidad de la transición entre ambas formas.

El modelo de Watson y Crick no solo explicaba la estructura del ADN, sino que permitía hacer predicciones para encauzar investigaciones futuras: "No se nos escapa que el apareamiento específico que postulamos sugiere inmediatamente un mecanismo de copia para el material genético"

(Watson y Crick, 1953a: 737). Del apareamiento de las bases se deducía que la doble hélice del ADN podía hacer copias de sí misma; si se abría, cada una de las cadenas podía servir de molde para la síntesis de la cadena complementaria.

En un nuevo artículo, publicado en *Nature* en mayo del mismo año, Watson y Crick (1953b) resaltaron, con más firmeza que en el anterior, el valor de su modelo de la estructura molecular del ADN por sus consecuencias para el desarrollo de la genética:

Recientemente propusimos una estructura [...] que, si es correcta, sugiere inmediatamente un mecanismo para su autoduplicación [...] Aunque la estructura no esté probada completamente hasta que se haya hecho una comparación más amplia con los datos de rayos X, tenemos suficiente confianza en su corrección general para discutir sus implicaciones genéticas (Watson y Crick, 1953b: 965).

En 1957, Meselson y Stahl demostraron la hipótesis de Watson y Crick según la cual la molécula de ADN era capaz de duplicarse a sí misma⁵⁰. Las dos cadenas que la forman pueden separarse y cada una de ellas puede actuar como un patrón para la síntesis de la cadena complementaria. El resultado es la obtención de dos moléculas bihelicoidales idénticas, portadoras de una cadena de la molécula original y otra de nueva síntesis. Esto se conoce como replicación semiconservativa del ADN. De este modo, la información genética puede transmitirse de generación en generación⁵¹.

50. Los artículos publicados en *Nature* por Watson y Crick, en 1953, no recibieron demasiada atención hasta unos años después, cuando Meselson y Stahl demostraron su hipótesis.

51. Véase un cronograma de la historia del ADN en <http://www.dnai.org/timeline/index.html>

CUADRO 4

¿QUÉ PUEDE APORTAR ESTE TEXTO A UNA PERSONA INTERESADA EN LA CULTURA CIENTÍFICA?

1. Asumir que no existe “el método científico”, entendido como un proceso universal y singular en etapas para la construcción del conocimiento científico. Las metodologías de los científicos son muy diversas.
2. Entender que las preguntas que dirigen las investigaciones científicas condicionan los objetivos, las metodologías, etc.
3. Comprender que los modelos científicos no son reproducciones de la realidad, pero son representaciones útiles porque, de manera similar a las teorías científicas, permiten explicar y predecir fenómenos de la naturaleza.
4. Valorar el papel de la creatividad en una investigación científica; por ejemplo, relacionando datos propios y ajenos muy diversos.
5. Reconocer la importancia del trabajo colaborativo en la ciencia a la hora de obtener resultados fructíferos.
6. Valorar la importancia de los aspectos éticos en el planteamiento y desarrollo de las investigaciones científicas.
7. Tomar conciencia de la presencia de la cuestión de género en la ciencia.

LA CONTROVERSI A TESLA VERSUS EDISON SOBRE LAS DOS CORRIENTES ELÉCTRICAS - AC/DC⁵²

“El presente es suyo, el futuro es mío”.

NIKOLA TESLA

Después de la presentación de la bombilla de Edison en 1879 y de la Exposición Universal de París en 1881, los nuevos sistemas de iluminación eléctricos se convirtieron en uno de los logros tecnológicos más importantes del mundo. Además, la electricidad podía sustituir al vapor para hacer funcionar motores. Fue una segunda Revolución Industrial y, en ciudades europeas y americanas, las centrales eléctricas se multiplicaron a partir del diseño de Pearl Street, la central que Edison puso en marcha en Nueva York, en 1882. Esta fue la primera instalación para la producción eléctrica comercial del mundo. Aunque era una planta enorme para su época, solamente podía producir y distribuir electricidad para unos 330 habitantes de Manhattan⁵³.

Lo que sigue es una pequeña parte de la historia de la tecnología eléctrica, en la que brillaron dos hombres:

52. En 1973, los hermanos Malcolm y Angus Young, nacidos en Glasgow, formaron en Australia la famosa banda de rock duro AC/DC, un nombre que hace referencia a las dos corrientes eléctricas: alterna (AC) y continua o directa (DC).

53. Los clientes fueron solo 59 inicialmente.

Thomas Alva Edison (1847-1931)⁵⁴ y Nikola Tesla (1856-1943)⁵⁵.

LOS COMIENZOS

Edison aspiraba a proveer de electricidad a la ciudadanía para que utilizara su bombilla eléctrica en el alumbrado público y doméstico. En 1880, patentó un sistema para generar y distribuir energía eléctrica con el fin de capitalizar su bombilla incandescente mejorada. Este sistema se basaba en la corriente continua o directa (DC)⁵⁶.

Los norteamericanos acogieron bien la idea de Edison, que ya era popular por varios inventos anteriores; pero pronto comenzaron a percatarse de los numerosos problemas e inconvenientes que presentaba. La energía eléctrica fluía en una dirección y los cables se derretían al paso de la corriente por el calentamiento debido al efecto Joule. El sistema no permitía realizar transmisiones de energía a distancias superiores a uno o dos kilómetros, por lo que se tenían que instalar numerosos generadores por la ciudad. Como tampoco se podía transformar el voltaje, se necesitaban líneas eléctricas separadas para poder suministrar energía a las industrias⁵⁷ y a los hogares de forma eficaz.

El resultado fue que el cielo de Nueva York quedó sembrado de gruesos cables de cobre, que daban la imagen de una urbe atrapada en una gran tela de araña. Lo peor era la

54. Véanse Thomas Edison Center at Menlo Park (<http://www.menloparkmuseum.org>) y la web sobre Edison (<http://www.thomasedison.com/index.html>).

55. Véase la web de Tesla Memorial Society of New York (<http://www.teslasociety.com/index.html>).

56. El primer servicio de alumbrado público utilizando el mismo sistema se inició en 1883 en Roselle, Nueva Jersey.

57. La distribución de motores eléctricos industriales provocó una fuerte demanda de un voltaje diferente a los 110 V usados para la iluminación.

inseguridad que ofrecía el sistema de Edison; que Nueva York tuviera semejante cableado aéreo resultaba peligroso, además de antiestético.

El problema del transporte para la distribución de la energía eléctrica era de difícil solución porque la transmisión interurbana de grandes cantidades de DC a 110 voltios era muy costosa y sufría enormes pérdidas de energía por disipación mediante calor. En suma, el sistema DC de Edison resultaba poco adecuado para responder a las nuevas demandas de electrificación a gran escala.

Tesla llegó a Nueva York en 1884, con solo 28 años, procedente de París, donde había trabajado como ingeniero dos años en la Continental Edison Company. Tenía experiencia con la corriente alterna (AC) y había construido su primer motor de inducción AC en 1882⁵⁸. Fue contratado por Edison para la Edison Machine and Works por recomendación de su antiguo jefe de la filial francesa.

Entre otros trabajos, Edison le encargó que abordara los problemas que presentaba su sistema eléctrico y lo mejorase. Un año después, Tesla le comunicó a Edison que tenía una solución. Había diseñado un sistema de generación, transmisión y distribución de AC que permitía elevar el voltaje con un transformador antes de transportarse a largas distancias y, una vez en su destino, reducirlo para suministrar energía de forma segura y económica. Su fundamento se basaba en que las pérdidas de energía en la transmisión de electricidad dependían de la intensidad de la corriente que circulaba por la línea. A mayor voltaje, la intensidad de corriente necesaria para transmitir la misma potencia era menor; por tanto, se conseguía que las pérdidas de energía fueran mucho más pequeñas. A diferencia de la DC, el voltaje de la AC se podía elevar con un transformador para ser

58. Michael Faraday descubrió la inducción electromagnética en 1831.

transportado largas distancias con pocas pérdidas de energía, y sin necesidad de usar cables de cobre tan gruesos. Una vez hecho el transporte, y antes de proveer de energía a los clientes, el voltaje se podía reducir hasta niveles seguros. De este modo, Tesla había resuelto el problema de la distribución de energía eléctrica para su transmisión a largas distancias.

Aquella solución presentaba muchas ventajas frente a la DC, pero Edison la rechazó porque no veía bien la insistencia de Tesla en promover el desarrollo de maquinaria y equipos movidos por AC⁵⁹. La fabricación de dispositivos relacionados con la DC (generadores, transmisores y equipos de mantenimiento) eran monopolio de Edison y la sustitución de la DC por la AC habría resultado muy costosa para sus empresas. Viendo que sus propuestas eran mal recibidas por la política de la compañía, Tesla renunció a seguir trabajando a las órdenes de Edison⁶⁰.

LA GUERRA DE LAS CORRIENTES: AC VERSUS DC

Tesla recibió fondos de algunos inversores para continuar sus trabajos con la AC en el laboratorio que había montado en Manhattan. Así, la Western Union Company apoyó económicamente sus investigaciones sobre la generación y el transporte de AC a largas distancias. Tesla fundó su propia empresa, la Tesla Electric Light and Manufacturing en 1886, pero fracasó como empresario.

59. Por entonces, Edison dijo: "Las ideas de Tesla son espléndidas, pero completamente impracticables". Años después, Edison se lamentó de no haber hecho caso a Tesla y no haber usado la AC, reconociendo que fue el mayor error que cometió jamás.

60. Parece ser que Edison le prometió a Tesla 50.000 dólares si encontraba una solución viable a los problemas de su sistema eléctrico. Cuando Tesla se lo reclamó, Edison le respondió: "Tesla, usted no entiende el sentido del humor americano".

George Westinghouse, un rico empresario recién llegado al negocio eléctrico, fundó la Westinghouse Electric Corporation, en 1886, para competir con la General Electric Company de Edison. En 1888, Tesla realizó una demostración de sus motores de inducción de AC con dos fases, aptos para utilizar voltajes mayores que los motores de DC, en el American Institute of Electrical Engineers (Columbia College de Nueva York). Westinghouse se interesó por este desarrollo tecnológico y Tesla se unió a él. Westinghouse acabó comprándole a Tesla sus patentes para dinamos, motores y transformadores de AC por 25.000 dólares⁶¹. Se perfilaba así una enconada competencia comercial entre las dos empresas eléctricas.

La General Electric Company, con una tecnología basada en la DC de Edison, y la Westinghouse Electric Corporation de Westinghouse, con una tecnología basada en la AC de Tesla, se enfrentaron en una batalla de relaciones públicas por el control del incipiente mercado de la generación y distribución de la energía eléctrica, a la que la prensa llamó “la guerra de las corrientes”; un duro enfrentamiento comercial

61. El siguiente ejemplo histórico, relativo al invento de la radio, puede servir para ilustrar brevemente el espinoso asunto de las patentes. Durante el Congreso anual de la British Association for the Advancement of Science, celebrado en Oxford en 1894, Oliver Lodge presentó un dispositivo para transmitir ondas hercianas con un alcance corto de algo más de cincuenta metros. Este físico británico creía que el conocimiento científico debía ser de dominio público; estaba muy preocupado por las restricciones que suponía el uso de patentes y era contrario a ellas. Posteriormente, en 1897, Lodge acabó por patentar sus investigaciones sobre este tema en contra de sus propias convicciones, llegando incluso a establecer un acuerdo comercial con una empresa para fabricar un equipo de radio que había diseñado. Sin embargo, un año antes, el joven italiano Guglielmo Marconi había tomado la iniciativa en este asunto, obteniendo la primera patente en todo el mundo para la radiotelegrafía. En 1909, Marconi, inventor y empresario, compartió el Premio Nobel con el físico alemán Karl Ferdinand Braun por sus contribuciones a las comunicaciones por radio. Lodge, precursor de esta técnica, no lo consiguió. Ahora bien, la paternidad de la radio se atribuye también a otros inventores, tales como Nikola Tesla (reconocido en Estados Unidos), del que Marconi llegó a usar catorce patentes para realizar su invento, y el físico ruso Aleksandr Stepánovich Popov.

para determinar cuál de los dos sistemas se convertiría en la tecnología dominante. Las dos empresas se emplearon a fondo, incluido el juego sucio para desprestigiar al adversario⁶².

El primer gran éxito de la AC fue en 1893, cuando los organizadores de la Exposición Universal de Chicago (realizada en honor a Cristóbal Colón) adjudicaron a la Westinghouse Electric Corporation el contrato para su iluminación⁶³. El presupuesto era la mitad que el de su competidora General Electric Company, además de que la instalación eléctrica no precisaba de la antiestética y peligrosa malla de cables de cobre que suponía la opción de la DC. Todos los generadores, transformadores, líneas de transmisión y dispositivos de la Exposición eran el resultado del ingenio de Tesla. Solo las bombillas incandescentes fueron proporcionadas por la otra parte⁶⁴.

El final de la guerra de las corrientes llegó cuando la Niagara Falls Power Company encargó a Westinghouse la aplicación de su sistema de transmisión eléctrica, basado en la tecnología de Tesla⁶⁵. En 1893, la Westinghouse Electric Corporation comenzó las obras de instalación de la primera

62. Carteles advirtiendo a los ciudadanos de los peligros que suponía la AC, difusión de historias falsas sobre accidentes mortales producidos por la AC, electrocuciones ante la prensa de animales (incluyendo a Topsy, un elefante que había matado a tres hombres) usando un prototipo de silla eléctrica que funcionaba con AC, son algunos de los medios agresivos que Edison y su equipo emplearon en esta guerra comercial. Por su parte, los partidarios de Tesla también desarrollaron una silla eléctrica que funcionaba con DC y el propio Tesla se expuso a una AC que atravesó su cuerpo sin causarle ningún daño.

63. Con anterioridad, la Westinghouse Electric Corporation y la tecnología de Tesla ya habían tenido dos éxitos importantes. El primero fue la firma de un contrato con Lucien Lucius Nunn para la instalación del nuevo sistema AC en las empresas mineras de Telluride (Colorado) en 1890. La planta hidroeléctrica de Ames empezó a funcionar en 1891 para suministrar energía a la Gold King Mine. El segundo fue la demostración del sistema de AC polifásico de Tesla en la exposición de Frankfurt de 1891.

64. Tesla presentó también los primeros tubos fluorescentes de neón en el Gran Salón de la Electricidad de la exposición de Chicago.

65. Una comisión internacional, presidida por el famoso científico Lord Kelvin, concedió el contrato a la Westinghouse Electric Corporation.

central hidroeléctrica del mundo en las cataratas del Niágara, capaz de llevar energía eléctrica hasta 32 km de distancia. El 16 de noviembre de 1896 se empezó a suministrar energía eléctrica desde la central a las industrias de Buffalo.

Ese mismo año, la ciudad de Buffalo fue la primera de los Estados Unidos iluminada con AC. Todos los componentes del nuevo sistema eléctrico se integraron en ese proyecto: la larga distancia, la transmisión con alto voltaje, los transformadores, los acopladores de distintas tensiones, los motores de inducción y los generadores magnéticos. En el proyecto de la Niagara Falls Power Company ya no se puede hablar de individuos, sino de grandes compañías que implementaron las distintas fases de su construcción. Desde entonces, la DC comenzó a reemplazarse como estándar y la AC acabaría imponiéndose en todo el mundo⁶⁶.

DOS MÉTODOS DE TRABAJO DIFERENTES

Suele decirse que Edison utilizó el método de ensayo y error en sus experimentos con frecuencia⁶⁷. Sin embargo, lo cierto es que reducía las posibilidades a ensayar siempre que podía, guiándose por cálculos basados en leyes conocidas de la física o de la química. Ahora bien, debe tenerse en cuenta que aunque la ciencia determine las posibilidades físicas de

66. Algunas ciudades siguieron utilizando el sistema de Edison hasta bien entrado el siglo XX, como Helsinki, donde estuvo operativo hasta los años 1940, o Estocolmo, hasta la década de 1960. En Nueva York, la Consolidated Edison continuó proporcionando energía a algunos clientes que habían adoptado el sistema de DC a comienzos del siglo XX, sobre todo a hoteles que la empleaban para hacer funcionar sus ascensores. La central de Nueva York, que había fundado Edison, aún suministraba energía eléctrica a 4.600 personas en enero de 1998, una cifra que se redujo a 60 clientes en 2006. Esta central hizo su última transmisión de DC en 2007.

67. Propiciado en parte por el propio Edison cuando decía que "el genio está compuesto de uno por ciento de inspiración y noventa y nueve por ciento de transpiración".

un artefacto o un sistema tecnológico, no decide su forma final; por ejemplo, la ley de Ohm no dictaminó ni la forma ni los detalles del sistema de iluminación de Edison.

Sin duda, Edison fue un técnico con una inventiva extraordinaria, pero también un gran empresario: “[...] sus cuadernos de notas revelan que sus pensamientos iban mucho más allá de los aspectos técnicos. Trataba de forma simultánea los costes económicos, los impedimentos políticos y el conocimiento científico disponible” (Aibar, 1996: 150). En los procesos de invención y desarrollo del sistema eléctrico basado en la DC, el inventor-empresario desempeñó un papel destacado. Edison consideró globalmente su sistema, teniendo en cuenta tanto las variables tecnológicas como las organizativas y económicas.

Una de las mayores innovaciones de Edison fue la creación del primer laboratorio de investigación industrial en Menlo Park, con el propósito de producir desarrollos tecnológicos e innovaciones mediante la investigación sistemática, dedicando para ello grandes recursos económicos y humanos. En ese laboratorio, Edison integró un equipo de trabajo compuesto por profesionales hábiles, algunos con gran preparación profesional, y tampoco le faltó un prestigioso abogado como consejero legal que tenía excelentes contactos en el mundo de las finanzas y en la política.

Con ese grupo, y apoyado financieramente por socios con grandes recursos económicos como J. P. Morgan, Edison acometió la creación de diferentes industrias que servirían para controlar los diversos componentes del sistema que tenía pensado. En 1878, fundó la Edison Electric Light Company para financiar su invención, las patentes, el desarrollo del sistema de iluminación eléctrica y la concesión de licencias para este. Dos años más tarde creó su primera empresa de servicios públicos de alumbrado urbano, la Edison Electric Illuminating Company of New York, cuyo

primer objetivo fue la construcción de una central generadora en Pearl Street, que entró en funcionamiento en 1882. Edison organizaría, además, varias empresas que debían suministrar los diferentes componentes de su sistema: la Edison Machine Works para construir dinamos, la Edison Electric Tube Company para fabricar conductores subterráneos y la Edison Lamp Works para las bombillas incandescentes.

A diferencia de Edison, Tesla tuvo una buena formación en ingeniería eléctrica en el Politécnico de Graz y en la universidad de esta misma ciudad (actualmente de Croacia, pero entonces perteneciente a Serbia bajo el Imperio austro-húngaro), aunque no llegó a terminar sus estudios.

Como Edison, Tesla pasaba muchas horas buscando soluciones a los problemas que se planteaba. Inventor e innovador a tiempo completo, también se sumergía a fondo en los problemas que encaraba. Sin embargo, primero meditaba y sopeaba mucho cada detalle, dedicando tiempo a una cuidadosa planificación de lo que iba a hacer, en vez de realizar una gran cantidad de ensayos y pruebas. Además, tenía una excelente visión y memoria espacial, lo que le permitía imaginar objetos tridimensionales con mucha facilidad y recordarlos con todo detalle; así ahorra tiempo en la elaboración de esquemas y planos en papel. En las propias palabras de Tesla:

Mi método es diferente. No me apresuro en el trabajo real. Cuando tengo una idea me pongo de inmediato a construirla en mi imaginación. Puedo cambiar la construcción, hacer mejoras y operar con el dispositivo en mi mente. Es absolutamente irrelevante para mí dirigir mi turbina en mi pensamiento o probarla en mi taller. Incluso puedo observar si está desequilibrada (Cheney, 1981: 12).

Dada su preparación, usaba las matemáticas y las teorías científicas de la época con profusión. Tesla fue un ingeniero

brillante, pero no tuvo buenas dotes como empresario. Se interesó más por resolver problemas técnicos, teorizar e inventar que por poner en marcha sistemas tecnológicos completos.

CUADRO 5

¿QUÉ PUEDE APORTAR ESTE TEXTO A UNA PERSONA INTERESADA EN LA CULTURA TECNOLÓGICA?

1. Concluir que una forma adecuada de caracterizar la tecnología es como sistema. Un sistema tecnológico es un conjunto complejo de componentes heterogéneos que se relacionan entre sí, con las personas y el medioambiente para resolver ciertos problemas. Si se quita algún componente del sistema, o si sus características cambian, los demás componentes también alterarán las suyas.
2. Entender que los componentes de la tecnología incluyen: instrumentos y artefactos técnicos; destrezas y habilidades (pericia técnica); recursos naturales y artificiales; organizaciones relacionadas con los procesos de producción (empresas industriales); financiación (entidades bancarias); control y mantenimiento (servicios públicos); conocimientos científicos (artículos, libros, enseñanza universitaria y programas de investigación); decisiones políticas, legales y administrativas (por ejemplo, permisos de concesión y leyes reguladoras); valores y acuerdos sociales; preferencias culturales y estéticas; etc.
3. Identificar la tecnología con un campo de conocimiento que implica un entramado muy complejo, en el que intervienen componentes y actores muy diversos, entre ellos, ingenieros, tecnólogos e inventores, empresarios industriales y comerciantes, banqueros y financieros, autoridades políticas y administradores públicos, periodistas, usuarios y ciudadanía en general.
4. Comprender que la tecnología no es simplemente la aplicación de la ciencia (ciencia aplicada). La tecnología puede avanzar tanto a partir de los descubrimientos científicos como de sus propios conocimientos.
5. Asumir que los elementos del conocimiento tecnológico adquieren su pleno significado como consecuencia de la tensión existente entre el diseño tecnológico y las restricciones que imponen los contextos social y cultural.

6. Valorar la importancia de las patentes en la tecnología como sistema de recompensa de ingenieros y tecnólogos.
7. Entender que la tecnología tiene valores constitutivos o propios (por ejemplo, racionalidad técnica, pericia, eficiencia, estética, economía, etc.) y contextuales (por ejemplo, razones de beneficio económico, bienestar social, prestigio nacional o industrial, poder político, militar o empresarial, etc.) que suelen aparecer mezclados en la actividad tecnológica y cuya separación es difícil.
8. Reconocer que los valores constitutivos y contextuales de la tecnología están presentes en las innovaciones tecnológicas y subyacen en la elección de los problemas abordados, el diseño tecnológico y los criterios usados para evaluar los resultados de la tecnología elegida. Ambos tipos de valores se transmiten en la transferencia de una tecnología, pudiendo entrar en conflicto con los valores contextuales de la sociedad receptora.
9. Asimilar que si una tecnología se desfaza o se abandona es porque sus valores están en desacuerdo con los valores sociales dominantes.

EPÍLOGO

De acuerdo con nuestra posición y modo de entender la cultura científica, las narraciones de historia de la ciencia expuestas en este libro pretenden contribuir a que el lector se plantee y reflexione sobre diversos aspectos de lo que se ha dado en denominar *naturaleza de la ciencia*. Los epistémicos, que son aquellos relativos a la naturaleza del conocimiento científico y de los procesos de la ciencia, y los no epistémicos, que se refieren a factores internos y externos a la comunidad científica. Tales aspectos se pueden desglosar en los siguientes:

1) Aspectos epistémicos de la naturaleza del conocimiento científico:

- Características de las teorías científicas.
- Diferencias entre leyes y teorías científicas.
- Diferencias en la interpretación científica de un mismo fenómeno.
- Provisionalidad de las teorías científicas.

- Dominancia de algunas teorías científicas.
- Carácter tentativo y dinámico del conocimiento científico.
- Diferencias y relaciones entre ciencia y tecnología.

2) Aspectos epistémicos de la naturaleza de los procesos de la ciencia:

- Observación e inferencia.
- Metodologías científicas.
- Papel de las hipótesis.
- Pregunta que dirige la investigación y objetivos perseguidos.
- Influencia de la especialidad del científico en la planificación y desarrollo de una investigación científica.
- Diseños de investigación y resultados experimentales.
- Papel de la experimentación en la ciencia.
- Modelos y modelización en la ciencia.
- Papel de los esquemas de clasificación.
- Influencia de las creencias personales, actitudes y habilidades de los científicos.
- Creatividad e imaginación.
- Papel de los errores en el desarrollo de la ciencia.
- Interés de las controversias científicas para el avance de la ciencia.

3) Aspectos no epistémicos relativos a factores internos a la comunidad científica:

- Papel de la comunidad científica en la aceptación de las teorías científicas.
- Relaciones profesionales dentro de la comunidad científica.
- Cooperación científica.

- Competitividad científica.
- Papel de la comunicación científica.
- Habilidad retórica y estrategias semánticas para persuadir de las ideas propias.
- Personalidad del científico.
- Relaciones personales entre científicos.
- Cuestiones morales y éticas.
- Influencia del género.

4) Aspectos no epistémicos relativos a factores externos a la comunidad científica:

- Influencia general de la ciencia en la sociedad.
- Influencia general de la sociedad en la ciencia.
- Contexto histórico, social y cultural.
- Influencia de la política en la ciencia.
- Apoyo político a la investigación.
- Patriotismo nacionalista.
- Apoyo económico a la investigación.
- Impacto de la ciencia en los asuntos socioeconómicos.
- Papel de las patentes en la producción científica.
- Ciencia y religión.
- Papel de la prensa en la divulgación de la ciencia.

Estos aspectos constituyen una lista amplia de un tipo u otro; pero no agotan, en absoluto, todos los posibles, que podrían ser sometidos a análisis y reflexión con otros casos y controversias de la historia de la ciencia. Entre ellos, asuntos tales como paradigmas y coherencia conceptual, matematización, precisión e incertidumbre, serendipia y ciencia, idealización en la ciencia, elegancia y belleza de la ciencia, revisión de artículos por pares, tecnociencia contemporánea, etc.

Asimismo, la lectura atenta de la narración de la controversia de historia de la tecnología puede favorecer en el lector una reflexión sobre las siguientes cuestiones, entre otras:

- La tecnología no es simplemente la aplicación de la ciencia.
- La tecnología como un sistema complejo de componentes interrelacionados.
- La multiplicidad de componentes de un sistema tecnológico.
- Las dimensiones técnica, organizativa e ideológico-cultural de la tecnología.
- La diversidad de actores que intervienen en el desarrollo tecnológico.
- El papel del diseño tecnológico en el desarrollo de una tecnología.
- Las restricciones que el contexto sociocultural impone a una tecnología.
- Las patentes como modo de recompensa a ingenieros y tecnólogos.
- Los valores propios y contextuales de una tecnología.
- El papel de los valores de la tecnología en la innovación tecnológica.
- La evaluación de tecnologías.
- Las transferencias tecnológicas.
- Los motivos por los que una tecnología queda desfasada o se abandona.

Si el lector ha llegado hasta aquí con interés, posiblemente es porque hemos conseguido atraer su atención y que haya empatizado con la cultura científica —y tecnológica— mediada por la historia de la ciencia —y la historia de la tecnología en su caso—; lo que no es poco. Pero si, además, ha reflexionado críticamente sobre lo señalado en los cuadros

finales de cada narración, volviendo a releer el texto histórico correspondiente, en el caso de que le fuera necesario, habremos conseguido el propósito principal que nos marcamos al escribir este libro: contribuir en cierta medida a mejorar su cultura científica —y tecnológica—, facilitándole la comprensión sobre cómo funciona la ciencia —y la tecnología—, así como haciéndole ver la influencia de numerosos aspectos epistémicos y no epistémicos en su desarrollo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEVEDO-DÍAZ, J. A. y GARCÍA-CARMONA, A. (2016a): "Rosalind Franklin y la estructura del ADN: un caso de historia de la ciencia para aprender sobre la naturaleza de la ciencia", *Revista Científica*, 27, pp. 162-175.
- (2016b): "Una controversia de la Historia de la Tecnología para aprender sobre Naturaleza de la Tecnología: Tesla vs. Edison - La guerra de las corrientes", *Enseñanza de las Ciencias*, 34 (1), pp. 193-209.
- (2016c): "Uso de la historia de la ciencia para comprender aspectos de la naturaleza de la ciencia. Fundamentación de una propuesta basada en la controversia Pasteur versus Liebig sobre la fermentación", *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 11 (33), pp. 203-226.
- ACEVEDO-DÍAZ, J. A., GARCÍA-CARMONA, A. y ARACÓN, M. M. (2016a): "La controversia Pasteur vs. Pouchet sobre la generación espontánea: un recurso para la formación inicial del profesorado en la naturaleza de la ciencia desde un enfoque reflexivo", *Ciência & Educação*, 22 (4), pp. 913-933.
- (2016b): "Un caso de Historia de la Ciencia para aprender Naturaleza de la Ciencia: Semmelweis y la fiebre puerperal", *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13 (2), pp. 408-422.
- (2017): "Historia de la ciencia para enseñar naturaleza de la ciencia: una estrategia para la formación inicial del profesorado de ciencia", *Educación Química*, DOI: 10.1016/j.eq.2016.12.003
- AIBAR, E. (1996): "La vida social de las máquinas: orígenes desarrollo y perspectivas actuales en la Sociología de la Tecnología", *Revista Española de Investigaciones Sociológicas*, 76, pp. 141-170.
- BUTTERFIELD, H. (2012): "Interpretación whig de la Historia", *Relaciones Internacionales*, 20, pp. 129-149.
- CHENEY, M. (1981): *Tesla: Man out of Time*, Nueva York, Prentice Hall.
- CRICK, F. (1989): *Qué loco propósito. Una visión personal del descubrimiento científico*, Barcelona, Tusquets.

- FARLEY, J. y GEISON, G. L. (1994): "Ciencia, política y generación espontánea en la Francia del siglo diecinueve: el debate Pasteur-Pouchet", en C. Solis (comp.), *Razones e intereses. La historia de la ciencia después de Kuhn*, Barcelona, Paidós, pp. 219-263.
- FEHÉR, M. (1990): "Acerca del papel asignado al público por los filósofos de la ciencia", en J. Ordóñez y A. Elena (comps.), *La ciencia y su público: Perspectivas históricas*, pp. 421-443, Madrid, CSIC.
- FRANKLIN, R. y GOSLING, R. G. (1953a): "Molecular Configuration in Sodium Thymonucleate", *Nature*, 171, pp. 740-741.
- (1953b): "Evidence for 2-chain helix in crystalline structure of sodium deoxyribonucleate", *Nature*, 172, pp. 156-157.
- GARCÍA-CARMONA, A. (2014): "Naturaleza de la ciencia en noticias científicas de la prensa: análisis del contenido y potencialidades didácticas", *Enseñanza de las Ciencias*, 32 (3), pp. 493-509.
- GEISON, G. (1974): "Louis Pasteur", en C. C. Gillispie (ed.), *Dictionary of Scientific Biography*, vol. 10, Nueva York, Charles Scribner's Sons.
- GODIN, B. y GINGRAS, Y. (2000): "What is scientific and technological culture and how is it measured? A multidimensional model", *Public Understanding of Science*, 9, pp. 43-58.
- GRIBBIN, J. (1986): *En busca de la doble hélice*, Barcelona, Salvat.
- KUHN, T. S. (1962): *The structure of scientific revolutions*, Chicago, University of Chicago Press.
- LATOUR, B. (1991a): "Pasteur on Lactic Acid Yeast: A Partial Semiotic Analysis", *Configurations*, 1 (1), pp. 129-146.
- (1991b): "Pasteur y Pouchet: heterogénesis de la historia de las ciencias", en M. Serres (coord.), *Historia de las Ciencias*, Madrid, Cátedra, pp. 477-502.
- MARTÍNEZ-PULIDO, C. (2000): *También en la cocina de la ciencia. Cinco grandes científicas en el pensamiento biológico del siglo XX*, La Laguna, Tenerife, Servicio de Publicaciones de la Universidad de La Laguna.
- McMULLIN, E. (1987): "Scientific controversy and its termination", en H. T. Engelhardt Jr. y A. L. Caplan (eds.), *Scientific Controversies. Case studies in the resolution and closure of disputes in science and technology*, Nueva York, Cambridge University Press, pp. 49-91.
- RAYNAUD, D. (1999): "La correspondance de F.-A. Pouchet avec les membres de l'Académie des Sciences: une réévaluation du débat sur la génération spontanée", *European Journal of Sociology*, 40, pp. 257-276.
- SÁNCHEZ RON, J. M. (1999): *Como al león por sus garras*, Madrid, Debate.
- SCHRÖDINGER, E. (1983): *¿Qué es la vida?*, Barcelona, Tusquets.
- SNOW, C. P. (1959): *The two cultures and the scientific revolution*, Cambridge, Cambridge University Press.
- (1977): *Las dos culturas y un segundo enfoque: versión ampliada de las dos culturas y la revolución científica*, Madrid, Alianza.
- THUILLIER, P. (1990): *De Arquímedes a Einstein. Las caras ocultas de la invención científica*, Madrid, Alianza.
- UNESCO-ICSU (1999): *Declaración sobre la Ciencia y el uso del saber científico*. Conferencia Mundial sobre la Ciencia para el Siglo XXI: Un nuevo compromiso. Budapest, Hungría (26 de junio - 1 de julio). Disponible en <http://www.oei.es/historico/salactsi/budapestdec.htm>
- WATSON, J. D. (2000): *La doble hélice*, Madrid, Alianza.
- WATSON, J. D. y CRICK, F. H. C. (1953a): "A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid", *Nature*, 171, pp. 737-738.
- (1953b): "Genetical implications of the structure of deoxyribonucleic acid", *Nature*, 171, pp. 964-967.
- WILKINS, M. H. F., STOKES A. R. y WILSON, H. R. (1953): "Molecular Structure of Deoxyribose Nucleic Acids", *Nature*, 171, pp. 738-740.

BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL

- ARROYO, M. (1997): "Hughes, Thomas Parker. Networks of Power. Electrification in Western Society, 1880-1930", *Biblio 3W. Revista bibliográfica de Ciencias Sociales*, 44.
- BOCÓ, R. y BULANKIAN, G. (2007): "Caso Semmelweis: al filo del paradigma médico moderno", *Mediações*, 12 (1), pp. 323-342.
- CÉLINE, L. F. (1968): *Semmelweis*, Madrid, Alianza.
- COLLINS, H. M. y PINCH, T. (1996): *El gólem Lo que todos deberíamos saber acerca de la ciencia*, Barcelona, Crítica.
- CWIKEL, J. (2008): "Lessons from Semmelweis: a social epidemiologic update on safe motherhood", *Social Medicine*, 3 (1), pp. 19-35.
- DUBOS, R. J. (1984): *Pasteur*, Barcelona, Salvat.
- FRANCESCUTTI, P. (2008): "La guerra de las corrientes: Tesla frente a Edison", *Entrelineas*, 7, pp. 55-59.
- GÁLVEZ, A. (1988): "The role of the French Academy of Sciences in the clarification of the issue of spontaneous generation in the mid-nineteenth century", *Annals of Science*, 45, pp. 345-365.
- GEISON, G. (1995): *The Private Science of Louis Pasteur*, Princeton, Princeton University Press.
- GILLIES, D. (2005): "Hempel and Kuhnian approaches in the philosophy of medicine: the Semmelweis case", *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 36 (1), pp. 159-81.
- HEIN, G. E. (1961): "The Liebig-Pasteur controversy: Vitality without vitalism", *Journal of Chemical Education*, 38 (12), pp. 614-619.
- HEMPEL, C. G. (1973): *Filosofía de la ciencia natural*, Madrid, Alianza.
- HUGHES, T. P. (1987): "The Evolution of Large Technological Systems", en W. E. Bijker, T. P. Hughes y T. Pinch (eds.), *The Social Construction of Technological Systems: New directions in the Sociology and History of Technology*, Cambridge, MIT Press, pp. 51-82.
- (1997): *Networks of Power: Electric supply systems in the US, England and Germany, 1880-1930*, Baltimore, The Johns Hopkins University Press.
- JIMÉNEZ-DOMÍNGUEZ, R. V. (2010): "El método en la tecnología: Edison y Tesla, dos estilos contrastantes de aproximación a la inventiva", *Revista de la Asociación Mexicana de Metodología de la Ciencia y de la Investigación*, 2 (1), pp. 2-17.
- MARTÍNEZ, O. (2014): "La ofensiva de Ignaz Semmelweis contra los miasmas ineluctables y el nihilismo terapéutico", *Acta Médica Colombiana*, 39 (1), pp. 90-96.
- MARTINS, L. A-C. P. (2009): "Pasteur e a geração espontânea: uma história equivocada", *Filosofia e História da Biologia*, 4, pp. 65-100.
- MARTINS, L. A-C. P. y MARTINS, R. A. (1989): "Geração espontânea: dois pontos de vista", *Perspicillum*, 3 (1), pp. 5-32.
- MIRANDA, M. y NAVARRETE, L. (2008): "Semmelweis y su aporte científico a la medicina: Un lavado de manos salva vidas", *Revista Chilena de Infectología*, 25 (1), pp. 54-57.
- OLIVEIRA, M. B. de y FERNANDEZ B. P. M. (2007): "Hempel, Semmelweis e a verdadeira tragédia da febre puerperal", *Scientiae Studia*, 5 (1), pp. 49-79.
- ORTIZ, E. y SILVA, M. R. (2016): "O uso de abordagens da História da Ciência no ensino de Biologia: uma proposta para trabalhar a participação da cientista Rosalind Franklin na construção do modelo da dupla hélice do DNA", *Investigações em Ensino de Ciências*, 21 (1), pp. 106-123.
- PAAVOLA, S. (2006): "Hansonian and Harmanian abduction as models of discovery", *International Studies in the Philosophy of Science*, 20 (1), pp. 93-108.
- PERSSON, J. (2009): "Semmelweis's methodology from the modern stand-point: intervention studies and causal ontology", *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 40 (3), pp. 204-209.

- RAYNAUD, D. (1999): "La correspondance de F.-A. Pouchet avec les membres de l'Académie des Sciences: une réévaluation du débat sur la génération spontanée", *European Journal of Sociology*, 40, pp. 257-276.
- RODRIGUES, S. P. (2014): *O microrganismo no trabalho de Pasteur: fermentação e putrefação*. Tese de doutorado em História da Ciência, São Paulo, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo.
- SAYRE, A. (1997): *Rosalind Franklin y el ADN*, Madrid, Horas y Horas.
- SILVA, M. R. (2007): "Rosalind Franklin e seu papel na construção do modelo da dupla-hélice do DNA", *Filosofia e história da biologia*, 2, pp. 297-310.
- (2010a): "As controvérsias a respeito da participação de Rosalind Franklin na construção do modelo da dupla hélice", *Scientiae Studia*, 8 (1), pp. 69-92.
- (2010b): "Maurice Wilkins e a polêmica acerca da participação de Rosalind Franklin na construção do modelo da dupla hélice do DNA", *Filosofia e História da Biologia*, 5 (2), pp. 369-384.
- VALLVERDÚ, J. e IZQUIERDO, M. (2010): "Error y conocimiento: un modelo filosófico para la didáctica de la ciencia", *Enseñanza de las Ciencias*, 28 (1), pp. 47-60.
- VILLANUEVA-EGAN, L. A. (2012): "Semmelweis: Investigación operativa para prevenir muertes maternas en el siglo XIX", *Revista CONAMED*, 17, suplemento 1, pp. 42-47.
- VOLCY, C. (2012): "La investigación antigua de la fiebre puerperal: galimatías científico y objeto de reflexión", *Iatreia*, 25 (2), pp. 174-184.
- WALLER, J. (2002): *Fabulous science. Fact and fiction in the history of scientific discovery*, Nueva York, Oxford University Press.

Las controversias científicas son esenciales en la construcción del conocimiento científico porque impulsan el avance de la ciencia y muestran el conflicto como algo natural a la propia ciencia. Aparecen en ellas “actores principales” y “secundarios”, a menudo tan importantes los segundos como los primeros. No menos relevantes son los escenarios de las controversias, unas veces íntimos y públicos otras, pues también tienen un papel esencial en el desarrollo de estas. La idea de este libro surge ante la demanda de promover una cultura científica adecuada y más holística en la ciudadanía. Con las cuatro narraciones de controversias de historia de la ciencia que se presentan se pretende que el lector se plantee y reflexione sobre diversos aspectos de lo que se suele denominar naturaleza de la ciencia; esto es, a su comprensión sobre cómo funciona la ciencia y qué aspectos epistémicos y no-epistémicos influyen en su desarrollo. Asimismo, la narración de la controversia de historia de la tecnología da algunas claves sobre la naturaleza de la tecnología, que se diferencia sustancialmente de la naturaleza de la ciencia.

ENSAYOS CIENCIA Y SOCIEDAD	
IBIC: PDZ/PDX	
	
9 788490	973233
13 €	ISBN: 978-84-9097-323-3